

**PROYECTO DE GRADO
AJUSTE Y PUESTA A PUNTO DE UN SISTEMA OSPREY PARA LA
PRODUCCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS DE MATRIZ DE ALUMINIO**

**JOSÉ LUIS CASTILLO PAREDES
2025095
ANDRÉS FERNANDO PERDOMO MINA
987136**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE OCCIDENTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERIA MECANICA
SANTIAGO DE CALI
2008**

**PROYECTO DE GRADO
AJUSTE Y PUESTA A PUNTO DE UN SISTEMA OSPREY PARA LA
PRODUCCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS DE MATRIZ DE ALUMINIO**

**JOSÉ LUIS CASTILLO PAREDES
2025095
ANDRÉS FERNANDO PERDOMO MINA
987136**

**Proyecto de Pasantía para Optar el Título de
Ingeniero Mecánico**

**Director
JULIÁN PORTOCARRERO HERMANN
Ingeniero Mecánico**

**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE OCCIDENTE
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA DE INGENIERIA MECÁNICA
SANTIAGO DE CALI
2008**

Nota de Aceptación

Aprobado por el comité de grado en cumplimiento de los requisitos exigidos por la Universidad Autónoma de Occidente para optar el título de Ingeniero Mecánico.

JULIÁN PORTOCARRERO HERMANN

Firma del Director de la Pasantía

Firma del Jurado

Firma del Jurado

Santiago de Cali, 28 de Mayo de 2009

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
1. INFORMACIÓN GENERAL DEL PROYECTO	9
1.1. TITULO DEL PROYECTO DE PASANTÍA	9
1.2. PARTICIPANTES	9
1.3. AREA.	9
1.4. LUGAR DE DESARROLLO DE LA PASANTÍA:	9
1.5. PALABRAS CLAVES	9
2. INTRODUCCIÓN	1
3. PROBLEMA	3
3.1. PLANTEAMIENTOS DEL PROBLEMA	3
3.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.	4
3.3. SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA.	4
4. OBJETIVOS	6
4.1. OBJETIVO GENERAL	6
4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	6
5. DELIMITACION	6
6. ANTECEDENTES	7
7. JUSTIFICACIÓN	9
8. MARCO TEÓRICO	10
8.1. MATERIALES COMPUESTOS	10
7.1.1. <i>Definición de Materiales Compuestos.</i>	11
7.1.2. <i>Clasificación de los Materiales Compuestos.</i>	16
8.2. MATERIALES COMPUESTOS DE MATRIZ METALICA (MCM)	17
8.3. MCM REFORZADOS CON PARTÍCULAS.	18
8.4. LECHO FLUIDIZADO	21
7.4.1. <i>Mecanismo de Fluidización.</i>	21
7.4.2. <i>Porosidad Mínima de Fluidización.</i>	24
7.4.3. <i>Velocidad mínima de fluidización.</i>	24
7.4.4. <i>Pérdida de presión friccional para lechos fluidizados.</i>	25
7.4.5. <i>Altura del lecho.</i>	26
7.4.6. <i>Velocidad Arrastre (</i>	26
8.5. TECNOLOGIA DE COINYECCION	27
8.6. FUNDAMENTOS DEL PROCESO OSPREY	27
7.6.1. <i>Atomización.</i>	29
7.6.2. <i>Mecanismos de Atomización.</i>	31
7.6.3. <i>Fenómenos de penetración de partículas en gotas metálicas.</i>	33
7.6.4. <i>Distancia y ángulo de inoculación.</i>	34
9. MARCO REFERENCIAL	36
10. METODOLOGÍA	40
10.1. ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN	40
10.2. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	40
10.3. TIPO DE LA INVESTIGACIÓN.	40
10.4. ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN	40

10.5.	INSTRUMENTOS	41
10.6.	PROCEDIMIENTO	41
11.	ANÁLISIS DEL ESTADO DEL EQUIPO	42
11.1.	RECONOCIMIENTO INICIAL DE LA MÁQUINA	42
11.2.	ANÁLISIS DEL ESTADO DE LA MÁQUINA	43
11.3.	DESENSAMBLE DE LOS ELEMENTOS DE LA MÁQUINA	48
11.4.	ANÁLISIS DE PIEZAS DEL SISTEMA OSPREY QUE SE DESMONTARON	49
10.4.1.	<i>Tornillo de Potencia.</i>	49
10.4.2.	<i>Poleas del Tornillo de Potencia.</i>	50
10.4.3.	<i>Motorreductores.</i>	50
10.4.4.	<i>Ejes Guías de Placa Móvil.</i>	51
10.4.5.	<i>Placa Móvil.</i>	52
10.4.6.	<i>Placas Fijas Superior e Inferior.</i>	52
10.4.7.	<i>Eje de Movimiento.</i>	52
10.4.8.	<i>Disco Soporte o Base del Colector de Polvos del Sistema de deposición.</i>	55
10.4.9.	<i>Tapa o Disco Colector de Polvos del Sistema de deposición.</i>	55
10.4.10.	<i>Tolva o Cono de la cámara.</i>	55
10.4.11.	<i>Tubo entrada de agua.</i>	56
12.	DESARROLLO Y ANÁLISIS DE LOS PREDISEÑOS	57
12.1.	REQUERIMIENTOS	57
12.2.	IDENTIFICACIÓN DE LAS NECESIDADES	57
12.3.	REQUERIMIENTOS ESPECÍFICOS DE INGENIERÍA	58
12.4.	DESCOMPOSICION FUNCIONAL DEL PROBLEMA	58
11.4.1.	<i>Descripción de la función general del producto.</i>	58
11.4.2.	<i>Posibles Soluciones Conceptos.</i>	59
12.5.	SELECCIÓN Y PRUEBA DE CONCEPTOS	60
12.6.	ANÁLISIS DE VIABILIDAD DEL CONCEPTO	62
13.	REDISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE ELEMENTOS	63
13.1.	TORNILLO DE POTENCIA	64
13.2.	POLEAS	73
13.3.	GUIAS DE DESPLAZAMIENTO	74
13.4.	PLACA MOVIL	74
13.5.	PLACA FIJA SUPERIOR	75
13.6.	PLACA INFERIOR	76
13.7.	EJE DE MOVIMIENTO Y DE REFRIGERACIÓN	77
13.8.	PLATO SOPORTE COLECTOR DE POLVOS SISTEMA DE REFRIGERACION	78
13.9.	EMSAMBLE	79
14.	PRESUPUESTO	81
15.	FINANCIACIÓN	82
16.	CONCLUSIONES	83
17.	RECOMENDACIONES	84
18.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	85

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
FIGURA 1. DISTRIBUCIÓN SECTORIAL (EN VALOR) DE LA APLICACIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS.	13
FIGURA 2. RESISTENCIA A TENSIÓN DE MATERIALES ESTRUCTURALES COMUNES.	14
FIGURA 3. MÓDULO DE TENSIÓN DE MATERIALES ESTRUCTURALES COMUNES	14
FIGURA 4. DENSIDAD DE MATERIALES ESTRUCTURALES COMUNES.	15
FIGURA 5. RESISTENCIA ESPECÍFICA A TENSIÓN DE MATERIALES ESTRUCTURALES COMUNES.	15
FIGURA 6. MODULO A TENSIÓN ESPECÍFICO DE MATERIALES ESTRUCTURALES COMUNES.	16
FIGURA 7. CLASIFICACIÓN DE LOS MATERIALES COMPUESTOS, DE ACUERDO AL TIPO DE MATRIZ Y AL TIPO DE REFUERZO.	16
FIGURA 8. MUESTRA EL AUMENTO DE EL MODULO DE ELASTICIDAD CON EL INCREMENTO DE VOLUMEN PARTÍCULAS DE SiC, EN UNA MATRIZ DE ALUMINIO.	19
FIGURA 9: EFECTO DEL REFUERZO DE PARTÍCULAS DE SiC DE 7.5 μm Y 16 μm EN UNA MATRIZ DE ALEACIÓN DE ALUMINIO A356 CON DOS TRATAMIENTOS TÉRMICOS DIFERENTES (T4 Y T6) COMPARADOS FRENTE A LA MATRIZ SIN REFUERZO EN UNA GRAFICA DE ESFUERZO VS DEFORMACIÓN.	20
FIGURA 10. A) MICROGRAFÍA SEM PARA UNA MATRIZ DE ALUMINIO AA6061 SIN REFUERZO, B) MICROGRAFÍA SEM PARA UNA MATRIZ DE ALUMINIO AA6061 CON UN 5% DE PARTÍCULAS DE TiB ₂ .	20
FIGURA 11. FORMACIÓN DE UN LECHO FLUIDIZADO A PARTIR DE UN LECHO FIJO DE PARTÍCULAS: A) FASES DEL LECHO AL AUMENTAR LA VELOCIDAD; B) VARIACIÓN DE LA PÉRDIDA DE PRESIÓN Y ALTURA DEL LECHO.	22
FIGURA 12. COMPORTAMIENTO DE LA CAÍDA DE PRESIÓN EN EL LECHO CON RESPETO A LA VELOCIDAD.	23
FIGURA 13. CLASIFICACIÓN DE LOS LECHOS SEGÚN LA VELOCIDAD DEL FLUIDO.	24
FIGURA 14. ESQUEMA GENERAL DEL SISTEMA OSPREY	28
FIGURA 15. ETAPAS DE LA ATOMIZACIÓN DE METALES	32
FIGURA 16. ESQUEMA DE LA INOCULACIÓN DE UNA PARTÍCULA DE REFUERZO EN EL SENO DE UNA GOTA LIQUIDA.	34
FIGURA 17. FRACCIÓN SÓLIDA Y TEMPERATURA DE LAS GOTAS DE UNA ALEACIÓN DE Al-Si ATOMIZADA COMO FUNCIÓN DE LA DISTANCIA DE VUELO	35
FIGURA 18. CONO DE ATOMIZACIÓN Y SISTEMA DE COINYECCIÓN IMPACTANDO LAS PARTÍCULAS DE REFUERZO A LA ALTURA DETERMINADA.	35
FIGURA 19. UBICACIÓN DE LA PUERTA PRINCIPAL DEL CERRAMIENTO DEL EQUIPO DE OSPREY.	43
FIGURA 20. MALLA IMPIDIENDO LA APERTURA DE LA COMPUERTA PRINCIPAL DEL EQUIPO DE OSPREY.	43
FIGURA 21. SISTEMA DE OSPREY DE LA UNIVERSIDAD DEL VALLE.	44
FIGURA 22. SISTEMA MOTOR DE ELEVACIÓN Y ROTACIÓN.	46
FIGURA 23. CÁMARA DEL OSPREY.	47
FIGURA 24. SISTEMA DE ATOMIZACIÓN.	47
FIGURA 25. CONO DE LA CÁMARA.	47
FIGURA 26. HORNO DE SOSTENIMIENTO.	48
FIGURA 27. PIEZAS DEL SISTEMA OSPREY QUE SE DESMONTARON.	48
FIGURA 28. TORNILLO DE POTENCIA.	49
FIGURA 29. FOTOGRAFÍA DEL DISEÑO INICIAL DEL SISTEMA MOTRIZ.	49
FIGURA 30. ANÁLISIS DE CARGA SOBRE LA PLACA MÓVIL.	50
FIGURA 31. DISEÑO INICIAL DEL SISTEMA MOTRIZ.	50
FIGURA 32. POLEA.	51
FIGURA 33. MOTORREDUCTORES.	51
FIGURA 34. PLACAS FIJAS Y SISTEMA MOTOR.	52
FIGURA 35. EJE DE MOVIMIENTO.	53
FIGURA 36. TUBO EXTERNO DEL EJE DE MOVIMIENTO Y SISTEMA DE REFRIGERACIÓN.	53
FIGURA 37. TUBO INTERNO DEL EJE DE MOVIMIENTO Y SISTEMA DE REFRIGERACIÓN.	54
FIGURA 38. TUBO INTERNO DEL EJE DE MOVIMIENTO Y SISTEMA DE REFRIGERACIÓN, ACOPLADO.	54
FIGURA 39. TUBO EXTERNO DEL EJE DE MOVIMIENTO MECANIZADO DEFICIENTE.	54
FIGURA 40. TAPA Y BASE DEL COLECTOR DE POLVOS.	55

FIGURA 41. TOLVA O CONO DE LA CÁMARA.	56
FIGURA 42. TUBO ENTRADA DE AGUA	56
FIGURA 43. DESCOMPOSICIÓN FUNCIONAL	59
FIGURA 44. (A) PRIMERA ALTERNATIVA (B) SEGUNDA ALTERNATIVA	60
FIGURA 45. TERCERA ALTERNATIVA	60
FIGURA 46. CONCEPTO SELECCIONADO	61
FIGURA 47. DISEÑO INICIAL.	63
FIGURA 48. MODELADO SOLID EDGE.	63
FIGURA 49. REDISEÑO FINAL	64
FIGURA 50. DIAGRAMA BASE PARA EL CÁLCULO.	65
FIGURA 51. CONDICIÓN DE LOS EXTREMOS EN COLUMNAS – TIPOS DE APOYOS.	65
FIGURA 52. DIENTE DEL TORNILLO SOMETIDO A FLEXIÓN POR LA CARGA APLICADA.	70
FIGURA 53. DIENTE DEL TORNILLO SOMETIDO A ESFUERZOS DE CONTACTO.	71
FIGURA 54. TORNILLOS DE POTENCIA.	73
FIGURA 55. JUEGO DE POLEAS.	73
FIGURA 56. JUEGO DE POLEAS INSTALADAS.	74
FIGURA 57. GUÍAS MOVIMIENTO FINAL.	74
FIGURA 58. PLANO PLACA MÓVIL.	75
FIGURA 59. PLACA MÓVIL FÍSICA.	75
FIGURA 60. PLANO PLACA SUPERIOR.	76
FIGURA 61. PLACA SUPERIOR.	76
FIGURA 62. PLANO PLACA INFERIOR.	76
FIGURA 63. PLACA INFERIOR.	77
FIGURA 64. MAQUINADO DE PLACAS.	77
FIGURA 65. MECANIZADO EJE DE MOVIMIENTO Y REFRIGERACIÓN CON LUNETAS.	78
FIGURA 66. EJE COMPLETO ENSAMBLADO.	78
FIGURA 67. PLATO SOPORTE.	79
FIGURA 68. ENSAMBLE FINAL IMAGEN 1.	79
FIGURA 69. ENSAMBLE FINAL IMAGEN 2.	80

LISTA DE TABLAS

	Pág.
TABLA 1. COMPARACIÓN ENTRE LAS PROPIEDADES GENERALES DE DIFERENTES TIPOS DE MATERIALES.	11
TABLA 2. ANÁLISIS DEL SISTEMA DE FUSIÓN DEL EQUIPO DE OSPREY.	44
TABLA 3. ANÁLISIS DEL SISTEMA DE ATOMIZACIÓN DEL EQUIPO DE OSPREY.	45
TABLA 4. ANÁLISIS DEL SISTEMA DE CO-INYECCIÓN DEL EQUIPO DE OSPREY.	45
TABLA 5. ANÁLISIS DEL SISTEMA DE DEPOSITACIÓN DEL EQUIPO DE OSPREY.	45
TABLA 6. ANÁLISIS DEL SISTEMA MOTOR DEL EQUIPO DE OSPREY.	46
TABLA 7. ANÁLISIS DEL SISTEMA MOTOR DEL EQUIPO DE OSPREY.	46
TABLA 8. NECESIDADES DEL CLIENTE.	57
TABLA 9. REQUERIMIENTOS ESPECÍFICOS DE INGENIERÍA.	58
TABLA 10. SELECCIÓN DE CRITERIOS	61
TABLA 11. DATOS DE ENTRADA PARA EL CÁLCULO DEL TORNILLO.	65
TABLA 12. CONDICIÓN DE LOS EXTREMOS EN COLUMNAS.	66
TABLA 13. PRESUPUESTO.	81

1. INFORMACIÓN GENERAL DEL PROYECTO

1.1. TITULO DEL PROYECTO DE PASANTÍA

“AJUSTE Y PUESTA A PUNTO DE UN SISTEMA OSPREY PARA LA PRODUCCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS DE MATRIZ DE ALUMINIO”

1.2. PARTICIPANTES

➤ ESTUDIANTES:

JOSÉ LUIS CASTILLO PAREDES CÓDIGO: 2025095
ANDRÉS FERNANDO PERDOMO MINA CÓDIGO: 987136
Estudiantes de Ingeniería Mecánica Universidad Autónoma de Occidente

➤ DIRECTOR PASANTÍA

- Ing. Julián Portocarrero Hermann
Docente - Universidad Autónoma de Occidente

1.3. AREA.

- Materiales - Materiales compuestos de matriz metálica.

1.4. LUGAR DE DESARROLLO DE LA PASANTÍA:

Universidad del Valle
Universidad Autónoma de Occidente

1.5. PALABRAS CLAVES

Materiales compuestos, materiales de refuerzo particulado, coinyección de metales, Atomización (Spray) de metales, proceso Osprey, matriz de aluminio.

2. INTRODUCCIÓN

Esta investigación surge dentro del marco del proyecto de investigación “Síntesis y caracterización de nuevos materiales utilizando tecnología de polvos” identificado con el código 1106-08-14308 de COLCIENCIAS el cual se desarrolla en el grupo de Materiales compuestos bajo la dirección del profesor PhD Héctor Sánchez Sthepa, que tiene su sede principal en la Universidad del Valle, y del cual son integrantes la Universidad del Valle, la Universidad Autónoma de Occidente y la Universidad Santiago de Cali.

En la universidad del Valle se diseñó y construyó un equipo de Osprey, para la atomización y coinyección de aluminio, con el cual se pretende realizar investigaciones en materiales compuestos de matriz metálica de aluminio reforzados por partículas. En el diseño de este equipo participaron PhD Héctor Sánchez Sthepa, el estudiante de Doctorado Julián Portocarrero Hermann y los estudiantes de pregrado Jahider González Silva y Daniel Fernando Atehortua López (los dos últimos como opción de grado). Este no estaba operando, dado que faltaba construirle algunos sistemas y calibrarle otros; además del ajuste y puesta a punto del equipo. Aquí es donde nace la razón de este proyecto con el cual no solo se pretende dejar operable el equipo sino que además se pretende realizar unas corridas de prueba del mismo.

Un proceso para la obtención de este tipo de materiales relativamente económico es el Osprey, el cual conjuga tanto el enfriamiento muy rápido como la inyección de partículas cerámicas o intermetálicas muy finas para reforzar las aleaciones. El proceso debe controlarse adecuadamente para lograr gotas finas de metal, las cuales son penetradas en vuelo por las partículas y enfriadas rápidamente hasta alcanzar un estado semisólido antes de llegar a la preforma rotatoria donde se obtiene generalmente un Billet (barra), el material así desarrollado, por poseer estructuras de grano fino y reforzadas con partículas, logra unas excelentes propiedades físico-mecánicas; esta fue la razón fundamental por la cual se decidió el desarrollo el diseño y construcción de este equipo en la UNIVALLE.

El desarrollo de este proyecto de pasantía se basó fundamentalmente en el rediseño y montaje de la parte mecánica del sistema de movimiento del plato de la preforma, el cual en su diseño original presentaba muchos problemas que impedían el movimiento normal, al poseer solo un sistema de arrastre en su movimiento vertical, el cual al sufrir una pequeña inclinación producía atascamientos y freno de todo el sistema; adicionalmente el sistema por su diseño presentaba muchas fugas de agua; lo cual lo hacía extremadamente peligroso de operar, dado el manejo de aluminio fundido a altas temperaturas.

Todo esto se debió a que no contábamos con el apoyo de ninguna entidad externa por lo tanto en el desarrollo de este proyecto nos vimos obligados a costear la totalidad de los elementos que construimos o rediseñamos.

Con el desarrollo de este proyecto se pretendió adicionalmente dar un aporte al fortalecimiento de la capacidad científica nacional, y en particular al grupo de Materiales Compuestos que tiene como sede la Escuela de Ingeniería de Materiales de la Universidad del Valle; dado que se trabajó con el desarrollo de nuevos materiales.

3. PROBLEMA

3.1. PLANTEAMIENTOS DEL PROBLEMA

Debido al crecimiento industrial y los elevados niveles de producción, se han incrementado los factores de servicio de los componentes mecánicos (mayores cargas, medio ambiente más agresivo y mayores problemas de desgaste); lo cual ha llevado a la necesidad de fabricar elementos de máquinas con materiales especiales que extiendan la vida útil de los equipos. Además, dado los elevados costos de las fuentes de energía, los nuevos materiales deben disminuir los consumos de potencia, en especial los ocasionados por cargas muertas y los efectos inerciales (peso de los elementos o piezas). Cuando la maquinaria y los equipos entran en mantenimiento, se para la producción, lo cual lleva a pérdidas económicas para la empresa, esto acarrea como consecuencia un incremento en los costos de producción. Una forma de reducir estos costos es la utilización de materiales con alto nivel de desempeño, diseñados para cada aplicación particular, es aquí donde los materiales compuestos han encontrado su nicho, dado que estos se diseñan de acuerdo a la necesidad y presentan unas elevadas propiedades específicas (propiedades mecánicas/densidad). En particular en los últimos años se han desarrollado una gran cantidad de materiales compuestos de matriz metálica, principalmente de aluminio, níquel y cobre, para diversas aplicaciones que van desde el campo industrial hasta el aeroespacial.

En Colombia, en la Universidad del Valle dentro del grupo de Investigación en Materiales Compuestos al cual está adscrita la Universidad Autónoma de Occidente con su Grupo de Investigación de Ciencias e Ingeniería de los Materiales, dentro de este grupo se han desarrollado varios proyectos de investigación con los cuales se han elaborado varios equipos y se han llevado a cabo innumerables investigaciones, en este grupo se encuentra en desarrollo el proyecto de investigación “Síntesis y caracterización de nuevos materiales utilizando tecnología de polvos” identificado con el código 1106-08-14308 de COLCIENCIAS; en este proyecto se diseñó y construyó un equipo de Osprey, para la atomización y coinyección de aluminio, para realizar investigaciones en materiales compuestos de matriz metálica de aluminio (MMC-Al) reforzados por partículas.

Este equipo presentaba muchos problemas para poderlo operar y además, le falta construirle algunos sistemas, calibrarle otros y realizarle los ajustes para la puesta a punto, por lo cual no ha podido ser utilizado para realizar las investigaciones y desarrollos tecnológicos para lo cual fue desarrollado. Uno de los principales problemas se encontraba en el sistema del plato colector (o preforma), el cual por su diseño de un solo tornillo se trababa durante su operación, impidiendo obtener la preforma en forma adecuada, además el subsistema de refrigeración y

enfriamiento por agua presentaba muchas fugas, lo cual lo hacía extremadamente peligroso de operar, dado que en este se trabaja con aluminio fundido a 850°C.

3.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.

A lo largo de los años las fábricas se han visto afectadas por el constante desgaste de las máquinas y piezas lo que ha conllevado en algunos casos a que estas suban los precios a algunos de sus productos para compensar las pérdidas que las paradas de producción ocasionan cuando alguna pieza falla, agregando que algunas de estas piezas son muy costosas dentro del mercado. Por estas razones se han realizado investigaciones en nuevas técnicas que permitan realizar piezas más resistentes, además con una larga vida útil permitiendo que las manufactureras disminuyan sus costos de producción lo que se ve traducido en mejoras económicas tanto para la fábrica como para los consumidores, dentro de estas investigaciones se han encontrado diferentes procesos para mejorar el rendimiento de las piezas uno de éstos es el proceso Osprey, para la atomización y coinyección de aluminio en materiales compuestos de matriz metálica de aluminio (MMC-Al) reforzados por partículas. Esta es una de las razones fundamentales por las cuales la Universidad del Valle a través del grupo de Síntesis y caracterización de nuevos materiales utilizando tecnología de polvos, diseño y construyó el equipo de Osprey, el cual presenta muchos problemas para poderlo operar, dado que algunos de sus sistemas, como el sistema del plato colector (o preforma), se cruza y se traba durante su recorrido, el subsistema de enfriamiento del plato colector presenta muchas fugas de agua lo cual lo hace extremadamente peligroso de operar. Adicionalmente le faltan unos ajustes y la construcción y rediseño de otros sistemas para ser perfectamente operable.

Por lo anteriormente expuesto surge la siguiente pregunta:

¿Cómo hacer operable el equipo de Osprey que posee la Universidad del Valle para desarrollar proyectos de investigación en la producción de materiales compuestos de matriz metálica de aluminio?

3.3. SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA.

- ¿Cómo funciona el proceso de Osprey y cuales son variables que rigen su comportamiento?
- ¿Cuáles son las condiciones paramétricas de funcionamiento de un equipo de Osprey?
- ¿Cuáles son las condiciones que requiere el equipo Osprey para ser operable?
- ¿Cómo rediseñar el sistema de movimiento del plato colector o preforma?

- ¿Cómo disminuir las fugas de agua?
- ¿Es viable el ajuste y puesta a punto del sistema Osprey para la producción de materiales compuestos de matriz de aluminio que existe en la Universidad del Valle?

4. OBJETIVOS

4.1. OBJETIVO GENERAL

Realizar el ajuste y la puesta a punto del sistema Osprey para la producción de materiales compuestos de matriz de aluminio de la Universidad del Valle.

Nos basamos debido a falta de apoyo externo por parte de las entidades ya mencionadas anteriormente en el desarrollo de este proyecto nos basamos en el rediseño, construcción y montaje del mecanismo motor del sistema de movimiento del plato de la preforma,

4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar pruebas y estudios al sistema Osprey de la Universidad del Valle para determinar las condiciones de funcionamiento en que se encontraba además de determinar que partes o piezas le hacen falta para ser operable.
- Calculo de los parámetros del proceso de fluidización
- Determinar la forma que debe tener el coinyector, además de que tipo es el que se utilizara y como debe ir instalado.
- Contribuir al desarrollo y investigación de nuevas formas de producción de materiales compuestos de matriz metálica de aluminio obtenidos por el proceso Osprey.

5. DELIMITACION

Este proyecto de pasantía se delimita al ajuste y puesta a punto del sistema motor y plato colector del sistema de refrigeración.

6. ANTECEDENTES

Con el desarrollo de nuevas tecnologías y de procesos productivos de mayor eficiencia, se han requerido materiales con mejores propiedades físicas, mecánicas y químicas, además de las combinaciones de dichas propiedades, las cuales no se logran con los materiales convencionales; lo que ha motivado el desarrollo de nuevos; en este desarrollo han surgido los materiales compuestos, los cuales dada su versatilidad de diseño y fabricación, son una de las principales aproximaciones a la solución de estas nuevas necesidades [1].

Los materiales compuestos están conformados por dos o más constituyentes combinados y unidos de forma mecánica o adhesiva para obtener un material con propiedades específicas mejoradas. Para constituir un material compuesto se distribuye un material de refuerzo, generalmente fuerte y rígido, en una matriz normalmente de baja densidad, para disminuir el peso del componente. Existen diversos tipos de materiales compuestos, que se clasifican dependiendo del tipo de matriz y del tipo refuerzo. En particular, los materiales compuestos con matriz metálica (MCM) son candidatos atractivos para aplicaciones estructurales de alto rendimiento, que requieran una combinación inusual de propiedades físicas y mecánicas. Entre los varios tipos de materiales compuestos existentes, presentan especial interés aquellos que están reforzados con partículas porque se pueden consolidar por medio de procesos de conformación tradicionales, tales como el forjado, la extrusión y el prensado a un costo atractivo para aplicaciones de alta exigencia. Los MCM reforzados con partículas se desarrollaron durante los años ochenta, especialmente aquellos de matriz con base aluminio reforzados con partículas de SiC, partículas de Al_2O_3 o fibras cortas [1,2,3].

Existe una diversidad de procesos pulvimetalúrgicos de reciente desarrollo a través de los cuales se fabrican exitosamente los MCM, como por ejemplo los procesos de fundición semisólida, Aleación Mecánica, Infiltración de Metal y los procesos de atomización-coinyección-depositación⁴. A este último pertenece el proceso Osprey, el cual fue desarrollado en Gales por Osprey Metals Ltda.,

[1] ORTIZ, J. L. “Composites de Matriz de Aluminio Reforzados con Nitruro, una Alternativa en el Desarrollo de Materiales de Alto Desempeño”, Revista electrónica del Tecnológico de Monterrey, Campus Querétaro, México (2000), Páginas 4

[2] AURAS, R.; et al, “Mechanical essays in materials compounded by aluminum base directionaly solidificated”, Scientific and Technological communication Meeting, National University of Northeast. Corrientes. Argentina (1996). Pág. 8 – 43

[3] BUSQUETS,D.; et al. “Influencia Microestructural del proceso de Obtención de Aluminio Reforzado con Partículas Cerámicas”. VIII Congreso Nacional de Propiedades Mecánicas de Sólidos, Gandia (2002). Pág. 243-252

[4] SALOMÓN, C.; et al. “Fibras Utilizadas en la Fabricación de Materiales Compuestos Avanzados”. Revista de Plásticos Modernos. Vol. 80. Número 534 (2000). Pág. 661 - 673

patentado en 1989 [5], es posible encontrarlo en diversos países y en distintas versiones amparados por diferentes patentes [6].

Actualmente los principales desarrollos y aplicaciones de esta tecnología se encuentra en empresas como Osprey Metals Ltda, Sandvik Steel en Suecia, Peak en Alemania, Alusuisse en Suiza, Pechiney en Francia, Sumitomo Light Metals en Japon y Alcoa en Los Estados Unidos. La versión Americana ha mejorado el diseño tradicional del Osprey, introduciendo boquillas de atomización de alta velocidad [7].

Los desarrollos más recientes de este proceso consisten en co-atomizar dos aleaciones para formar compuestos por reacción in situ y la coinyección de partículas cerámicas a las gotas líquidas, durante su vuelo al sustrato, buscando en ambos casos obtener efectos de reforzamiento en la matriz con estas partículas [7].

A nivel de Latinoamérica, solo en el departamento de ingeniería mecánica de la Universidad de Chile, hay una planta Osprey que fue diseñada y construida en 1994 por Sepúlveda y Miranda, para la obtención de cobre reforzado con diferentes tipos de carburos. Dicha planta, en 1999 fue reacondicionada y puesta a punto por Sepúlveda, trabajo durante el cual se realizaron importantes investigaciones [8,9].

En Colombia, en la Universidad del Valle se diseñó y construyó un equipo de Osprey, para la atomización y coinyección de aluminio [10], para el desarrollo de materiales compuestos de matriz metálica de aluminio (MMC-Al) reforzados por partículas; dentro del proyecto de investigación “Síntesis y caracterización de nuevos materiales utilizando tecnología de polvos” identificado con el código 1106-08-14308 de COLCIENCIAS. Este equipo no es operable, dado que algunos de sus sistemas, como el sistema del plato colector (o preforma) no funciona de forma adecuada, esto dio pie al desarrollo de este proyecto.

[5] BAILE P., M. “Estudio de la conformación alumini- silicio en estado semisólido”. Universidad Politécnica de Catalunya. 2005, Cap.1.

[6] GRANT, P.; et al.. Materials World, Vol. 7 no. 6 pp. 331-33, June 1999.

http://www.azom.com/details.asp?ArticleID=740#_Background, Spray Formed Aerospace Alloys”

[7] LEATHAM, A. “Spray Forming: Alloys, Products, and Markets” JOM (vol. 51, no. 4). April 1999

[8] PALMA, R. et al, “Nuevos métodos de fabricación mediante tecnologías de Polvos”. TRABAJO PRESENTADO EN EL IV Congreso Iberoamericano de Ingeniería Mecánica, CIDIM´99. Santiago, Chile, 23-26 nov. 1999. Páginas 6.

[9] SEPÚLVEDA W, J. R. “Planta de atomización-coinyección-depositación de materiales compuestos base cobre”. Dpto. Ing. Mecánica. Universidad de Chile. Mayo1999.

[10] GONZALES S., J.; ATEHORTUA L., D. F. “Diseño y construcción de un sistema para la producción de materiales compuestos de matriz de aluminio”. Universidad del Valle. Escuela de Materiales. 2008. P. 88.

7. JUSTIFICACIÓN

Debido al crecimiento de la industria se han vuelto imperativo elevar los niveles de producción, con el debido incremento de los tiempos de servicio, cargas y presencia de ambientes más agresivos sobre las piezas mecánicas, lo que incrementa los problemas de desgaste; por lo anterior existe la necesidad de fabricar elementos para máquinas con algunos materiales especiales que logren aumentar la vida útil de los equipos, añadiendo a lo anterior están los elevados costos de las diferentes fuentes de energía. Por lo anterior los nuevos materiales deben disminuir al máximo el desgaste y degradación de los elementos mecánicos y además disminuir los consumos de potencia.

Con los materiales compuestos, los cuales pueden ser diseñados para cada aplicación particular, se puede lograr materiales con elevadas prestaciones específicas y de esta forma obtener materiales de mayor vida útil y menor consumo energético dado su bajo peso, lo que redundará en ventajas económicas en producción y menores gastos de mantenimiento. En particular en los últimos años se han desarrollado una gran cantidad de materiales compuestos de matriz metálica, principalmente de aluminio, níquel y cobre, para diversas aplicaciones que van desde el campo industrial hasta el aeroespacial.

El proceso Osprey es relativamente nuevo, en Latinoamérica solo lo hay en la Universidad de Chile, en Colombia solo existe un equipo de Osprey en la Universidad del Valle, para el desarrollo de materiales compuestos de matriz metálica de aluminio, el cual no es completamente operable.

Con el ajuste y la puesta a punto del sistema Osprey para la producción de materiales compuestos de matriz de aluminio de la Universidad del Valle, se pretende dar un aporte al fortalecimiento de la capacidad científica nacional, y en particular al grupo de Materiales Compuestos que tiene como sede la Escuela de Ingeniería de Materiales de la Universidad del Valle y el grupo GCIM (Grupo de Investigación Ciencia e ingeniería de los Materiales) de la Universidad Autónoma de Occidente, dado que en el momento son dos grupos que trabajan varios proyectos en forma conjunta.

8. MARCO TEÓRICO

8.1. MATERIALES COMPUESTOS

Con el desarrollo de nuevas tecnologías y de procesos productivos de mayor eficiencia, se requiere de materiales con mejores propiedades físicas, mecánicas y químicas; además de combinaciones inusuales de dichas propiedades, las cuales no se logran con los materiales convencionales, esto ha motivado a generar grandes esfuerzos en investigación, desarrollo tecnológico y científico orientados a la generación y desarrollo de nuevos materiales. Dada su versatilidad de diseño y fabricación, una de las principales aproximaciones a la solución de estos problemas, son los materiales compuestos.

“Un material compuesto es un sistema de materiales constituidos por una mezcla o combinación de dos o más micro o macro-constituyentes que difieren en forma y composición química y que son esencialmente insolubles entre sí”. [11]. Para formar un material compuesto, se distribuye un material de refuerzo o relleno en una matriz. Donde el material de refuerzo es fuerte y rígido, en tanto que la matriz generalmente presenta una densidad relativamente baja (para disminuir el peso del componente) [11,12].

Cuando los materiales se unen entre sí, gran parte de la capacidad de soporte de carga del compuesto formado, es asumida por el material de refuerzo. El resultado es un material compuesto optimizado que presenta una alta resistencia y rigidez en relación con su peso. Generalmente los refuerzos suelen ser en forma de partículas o en forma de fibras. Es importante aclarar, que en muchos de los casos el material en forma de partículas, se añade como relleno a fin de abaratar el precio final del material y no como material de refuerzo. En el caso de las fibras, estas se añaden principalmente como materiales de refuerzo y son las responsables de las propiedades estructurales del material. Los modernos procedimientos de diseño tienden a incrementar la eficiencia estructural a través de reducciones en el peso o de incrementos en la relación resistencia/peso, conocida como Resistencia Específica, es aquí donde los materiales compuestos juegan un papel predominante [12].

Los materiales compuestos han sido empleados desde el principio de la civilización. En el antiguo Egipto se mezclaba la paja con la arcilla, para mejorar su resistencia al agrietamiento, de forma similar los Israelitas aproximadamente 1200 a.c fabricaban ladrillos reforzados con paja. El uso de materiales compuestos de ingeniería empezó en los años treinta, con el uso de materiales como el hormigón reforzado con acero y matrices poliméricas con fibras de vidrio. Sin embargo, los

[11] PORTOCARRERO H., J. Presentación de compuestos. Curso de Materiales Avanzados. UAO. 2008.

[12] SALOMÓN, C. et al. “Fibras Utilizadas en la Fabricación de Materiales Compuestos Avanzados”.

Revista de Plásticos Modernos. Vol. 80. Número 534 (2000). Pág. 661 - 673

principales avances en la comprensión y utilización de los materiales compuestos han ocurrido durante los últimos cuarenta años [13]. En 1962 comienza la producción de fibras de carbono de alta resistencia, y se establece la teoría del laminado. Este es el comienzo de lo que se define como Materiales Compuestos Avanzados [11].

Los Materiales Compuestos adicionalmente son muy buenos para soportar esfuerzos repetitivos, es decir, cargas y descargas sucesivas sin romperse; lo cual implica que los compuestos de polímeros reforzados pueden durar muchos cientos de miles, sino millones, de ciclos de trabajo sin que exista peligro que se destruyan [14]. Además los materiales compuestos presentan una mejor resistencia a la fatiga y a la corrosión que los metales (ver Tabla 1).

Tabla 1. Comparación entre las Propiedades Generales de Diferentes Tipos de Materiales.

Materiales	Puntos fuertes	Debilidades
Metales	<ul style="list-style-type: none"> • Rigidez ($E \approx 100$ GPa) • Ductilidad \Rightarrow Moldeabilidad • Tenacidad ($K_{IC} > 50$ MPa m^{1/2}) • Elevado punto de fusión ($T_m \approx 1.000$ °C) • Elevada resistencia al choque térmico ($\Delta T \approx 500$ °C) • Elevadas conductividades eléctricas y térmicas 	<ul style="list-style-type: none"> • Se deforman plásticamente ($\sigma_f \sim 1$ MPa) \Rightarrow Aleaciones • Baja dureza ($H \sim 3\sigma_f$) \Rightarrow Aleaciones • Baja resistencia a la fatiga ($\sigma_e \sim 1/2\sigma_f$) • Débil resistencia a la corrosión \Rightarrow recubrimientos
Cerámicas	<ul style="list-style-type: none"> • Rigidez ($E \approx 200$ GPa) • Elevada resistencia a la fluencia y duras ($\sigma_f \approx 3$ GPa) • Alto punto de fusión ($T_m \approx 2.000$ °C) • Densidad moderada • Resistencia a la corrosión 	<ul style="list-style-type: none"> • Muy baja tenacidad ($K_{IC} \approx 2$ MPa m^{1/2}) • Débil resistencia al choque térmico ($\Delta T \approx 200$ °C) • Dificultad de moldeo \Rightarrow métodos de polvo
Polímeros	<ul style="list-style-type: none"> • Ductilidad y moldeabilidad • Resistencia a la corrosión • Baja densidad • Bajas conductividades eléctricas y térmicas 	<ul style="list-style-type: none"> • Baja rigidez ($E \approx 2$ GPa) • Elevada fluencia ($\sigma_f \approx 2-100$ MPa) • Baja temperatura de transición vítrea ($T_g \approx 100$ °C) \Rightarrow fluyen a baja temperatura • Tenacidad media ($K_{IC} \approx 1$ MPa m^{1/2})
Materiales compuestos	<ul style="list-style-type: none"> • Rigidez ($E > 50$ GPa) • Resistencia mecánica ($\sigma_f \approx 200$ MPa) • Tenacidad ($K_{IC} > 50$ MPa m^{1/2}) • Resistencia a la fatiga • Resistencia a la corrosión • Baja densidad 	<ul style="list-style-type: none"> • Dificultad de moldeo • Elevado coste • Alta fluencia (matrices poliméricas)

Fuente: FERNÁNDEZ Pariente, Inés "Tecnología de Materiales". Escuela Politécnica de Ingeniería de Gijón, Universidad de Oviedo.2006.

7.1.1. Definición de Materiales Compuestos. Los materiales compuestos (MC) son una combinación de dos o más materiales insolubles que difieren en forma y composición química, unidos de una forma mecánica o adhesiva formando una interfase entre sí, los cuales no cambian de composición química durante la manufactura del MC. La sinergia de los materiales hace que las propiedades de los productos acabados, sean superiores a la suma de las propiedades de los productos individuales [11].

[13] HERAKOVICH, C. T. "Mechanics of Fibrous Composites", John Wiley & Sons, Inc. 1998. P. 222 – 245.

[14] FERNÁNDEZ Pariente, Inés "Tecnología de Materiales". Escuela Politécnica de Ingeniería de Gijón, Universidad de Oviedo.2006.

Una definición bastante clara sobre MC es la desarrollada por K.K. Chawla [15] que considera que un material compuesto es aquel que cumple las siguientes condiciones:

- Está fabricado de forma artificial (excluyendo de la definición a materiales naturales como la madera).
- Está formado por dos o más fases o constituyentes física o/y químicamente diferentes, dispuestos de forma adecuada y separados por una interfase definida (interfase formada entre los constituyentes).
- Sus propiedades no pueden ser alcanzadas por ninguno de sus constituyentes de forma aislada.

Para formar un MC, se distribuye un material de refuerzo o relleno en una matriz; normalmente, el material de refuerzo es fuerte y rígido, en tanto que la matriz tiene una densidad relativamente baja. Cuando los dos materiales se unen entre sí, gran parte de la capacidad de soporte de carga del MC es producida por el material de refuerzo. Generalmente los refuerzos suelen ser en forma de partículas o en forma de fibras. En el caso de las fibras, éstas se añaden principalmente como materiales de refuerzo y son las responsables de las propiedades estructurales del material. El resultado es un MC optimizado que presenta una alta resistencia y rigidez en relación con su peso; lo cual es importante en los procedimientos modernos de diseño en los que se tienden a incrementar la eficiencia estructural, a través de incrementos en la relación resistencia/peso, conocida como *Resistencia Específica*. Es aquí donde los MC juegan un papel predominante. Los compuestos avanzados ofrecen un gran potencial debido a su alta reducción de masa (2 veces menos que el aluminio y 5 veces menos que el acero) [12].

A pesar que el principio de Materiales Compuestos Avanzados se remonta a los años treinta con la utilización de materiales como el hormigón reforzado con acero y matrices poliméricas con fibras de vidrio; los motivos que originan el desarrollo inicial de los materiales compuestos avanzados, hay que encontrarlos en la creciente demanda que existía en la década de los 60, por parte de industrial como la aeronáutica y aeroespacial, la energía, la construcción civil, etc.; en contar con materiales cada vez más rígidos, resistentes y ligeros [16]. Estas demandas, que se exigían al comportamiento de los materiales, eran cada vez más extremas y variadas, por lo que ningún material convencional era capaz de satisfacerlas a la vez. Este hecho fue el que motivó el resurgimiento del concepto antiguo de combinar diferentes materiales en un material compuesto integral para satisfacer los requerimientos de los diferentes usuarios. Dos logros muy importantes en este sentido y que marcaron la rápida expansión de los materiales compuestos, fueron el desarrollo durante los primeros años de la década de los 60 de las fibras de carbono de alta resistencia en el Reino Unido y las fibras de boro en los EE.UU y

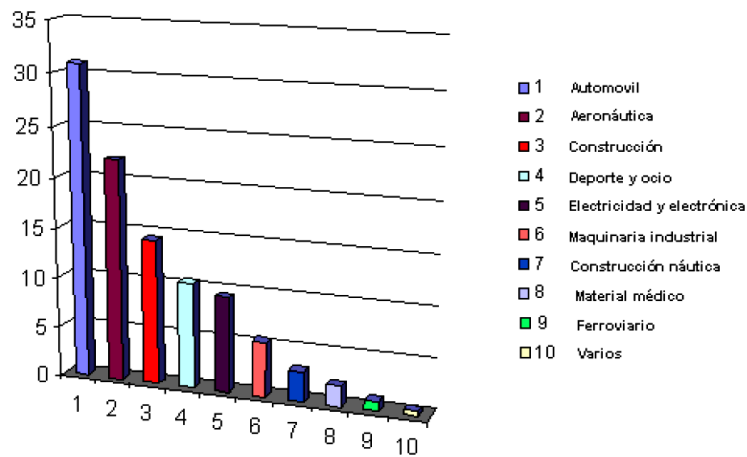
[15] CHAWLA K.K.. Composite Materials: Science and Engineering. Springer-Verlag. New York. 1987

[16] ORTIZ, J. L.. "Composites de matriz de aluminio reforzados con nitruro, una alternativa en el desarrollo de materiales de alto desempeño". <http://www.itesm.mx/va/deptos/ci/farticulos.htm>

además se estableció la teoría del laminado. Este es el comienzo de lo que se define como Materiales Compuestos Avanzados [15].

Estos materiales han permitido diseñar y fabricar el material según las especificaciones concretas exigidas, logrando una importante flexibilidad en el diseño, además de hacerlo más eficiente, dado que dependiendo de las exigencias del dispositivo, pieza o equipo (por ejemplo, una estructura aeroespacial, un automóvil, el casco de un barco o un motor eléctrico), se puede diseñar el material que se adecue a tales necesidades y permita su construcción; en la Figura 1 aparece la distribución sectorial (en valor) de la aplicación de materiales compuestos (Chalaye, 2002) [17].

Figura 1. Distribución sectorial (en valor) de la aplicación de materiales compuestos.



Fuente: PORTOCARRERO J. "Materiales Compuestos y su Aplicación al Sector Aeronáutico". Revista de Ciencia y Tecnología. Fuerza Área Colombiana. Julio de 2008.

Los desarrollos más representativos de los materiales compuestos están asociados a su aplicación en la industria aeronáutica. Schier y Juergens [18] revisaron al principio de la década de los 80 el impacto que los materiales compuestos habían tendido en el diseño de los aviones de combate, llegando a la conclusión de que los materiales compuestos habían introducido una extraordinaria fluidez a la ingeniería de diseño, forzando al diseñador a crear un material diferente para cada aplicación con el propósito de ahorrar peso (propiedades específicas elevadas) y costes (producción, operación y mantenimiento); la distribución según la aplicación (en valor) de materiales compuestos en diferentes sectores de la economía (Chalaye, 2002) [17] aparece en la Figura 1.

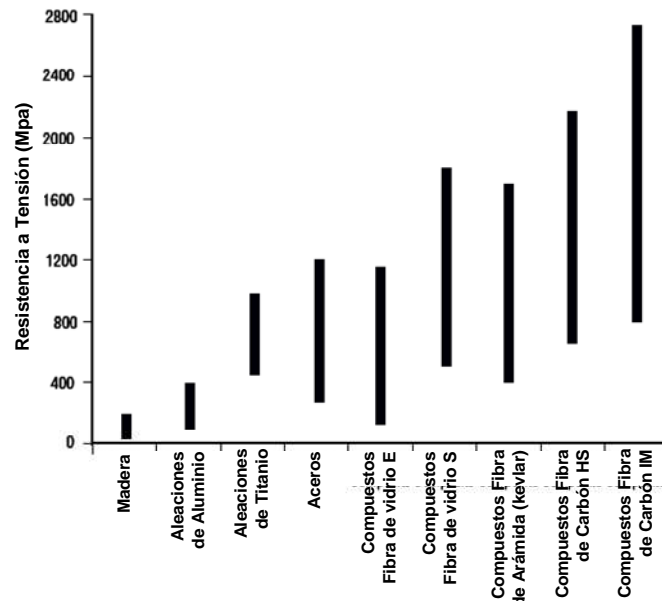
Para establecer las propiedades de los MC avanzados necesariamente hay que pensar en sus propiedades específicas, dado que este será uno de los criterios

[17] PORTOCARRERO J. "Materiales Compuestos y su Aplicación al Sector Aeronáutico". Revista de Ciencia y Tecnología. Fuerza Área Colombiana. Julio de 2008.

[18] SCHIER, J. F.; JUERGENS, R. J. "They Force a Fresh Look at the Design Process". Astronautics & Aeronautics, Sept. 1983, pp.44-49.

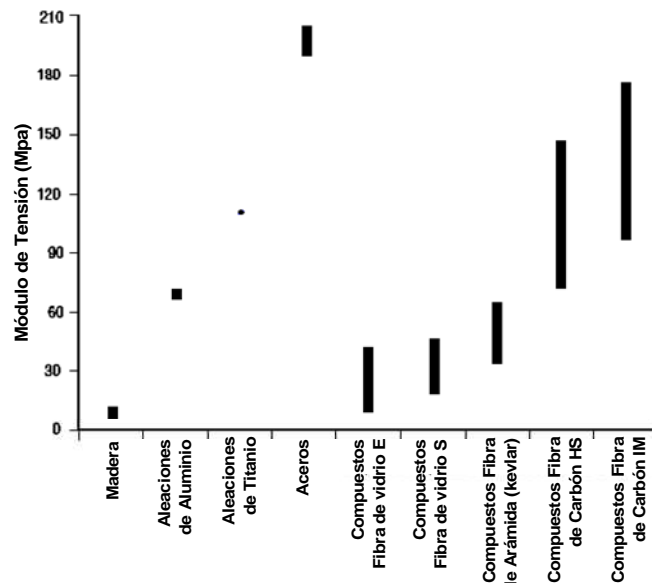
fundamentales a la hora de establecer cual material es mejor para determinada aplicación. En las Figura 2, Figura 3, Figura 4, Figura 5 y Figura 6 se puede apreciar que si se comparan las propiedades mecánicas sin tener en cuenta la densidad, los materiales metálicos son sobresalientes; pero al dividir estas propiedades por la densidad para obtener las propiedades específicas, los materiales compuestos presentan propiedades superiores.

Figura 2. Resistencia a tensión de materiales estructurales comunes.



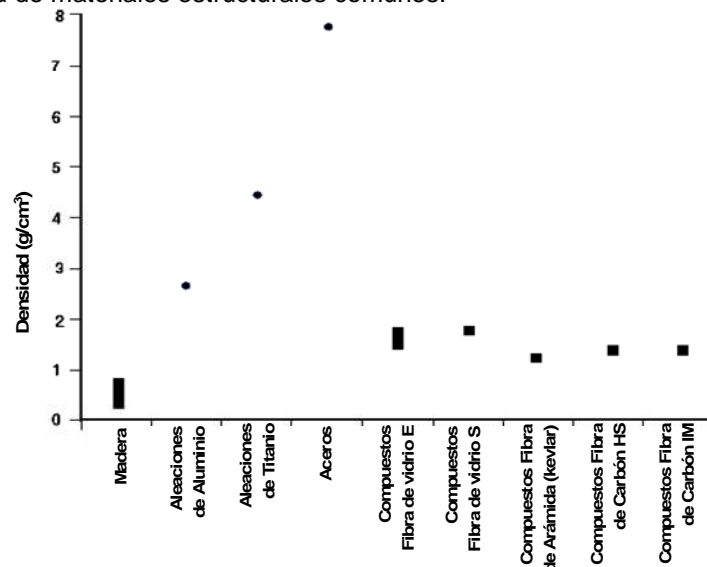
Fuente: PORTOCARRERO J. "Materiales Compuestos y su Aplicación al Sector Aeronáutico". Revista de Ciencia y Tecnología. Fuerza Área Colombiana. Julio de 2008.

Figura 3. Módulo de tensión de materiales estructurales comunes



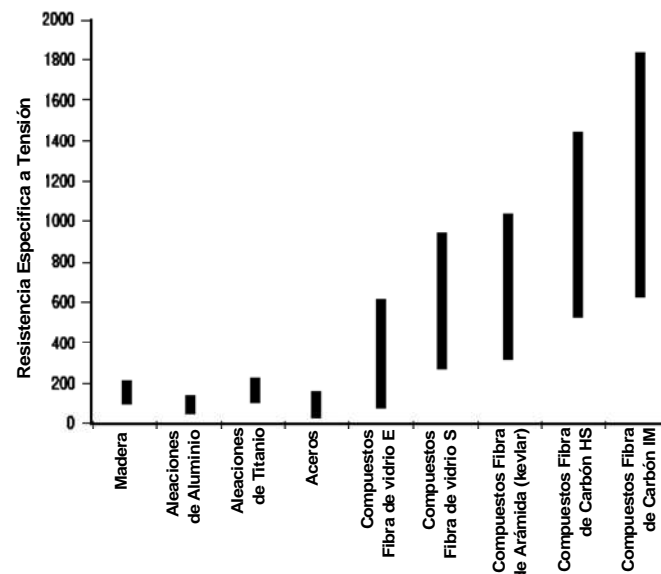
Fuente: PORTOCARRERO J. "Materiales Compuestos y su Aplicación al Sector Aeronáutico". Revista de Ciencia y Tecnología. Fuerza Área Colombiana. Julio de 2008.

Figura 4. Densidad de materiales estructurales comunes.



Fuente: PORTOCARRERO J. "Materiales Compuestos y su Aplicación al Sector Aeronáutico". Revista de Ciencia y Tecnología. Fuerza Área Colombiana. Julio de 2008.

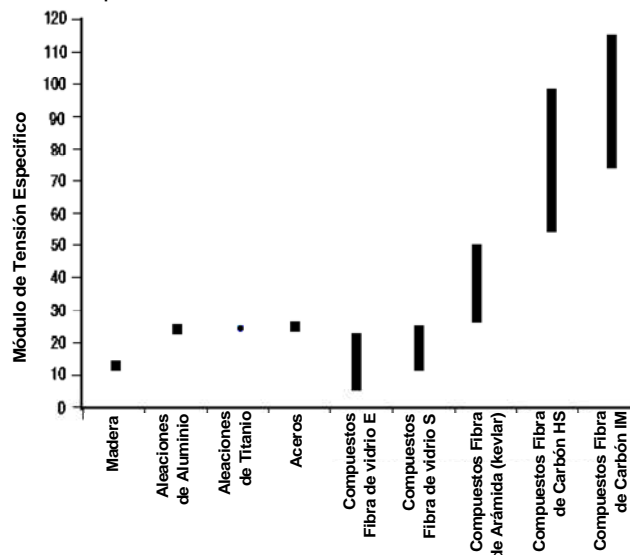
Figura 5. Resistencia Específica a tensión de materiales estructurales comunes.



Fuente: PORTOCARRERO J. "Materiales Compuestos y su Aplicación al Sector Aeronáutico". Revista de Ciencia y Tecnología. Fuerza Área Colombiana. Julio de 2008.

Los materiales compuestos adicionalmente tienen muy buena resistencia a la corrosión, lo cual reduce en consecuencia los gastos de mantenimiento, una aplicación interesante en este aspecto lo encontramos en las palas de helicóptero, las construidas en materiales compuestos hay que cambiarlas al cabo de varios meses de utilización mientras que las metálicas se deben cambiar cada cincuenta (50) horas de servicio [17].

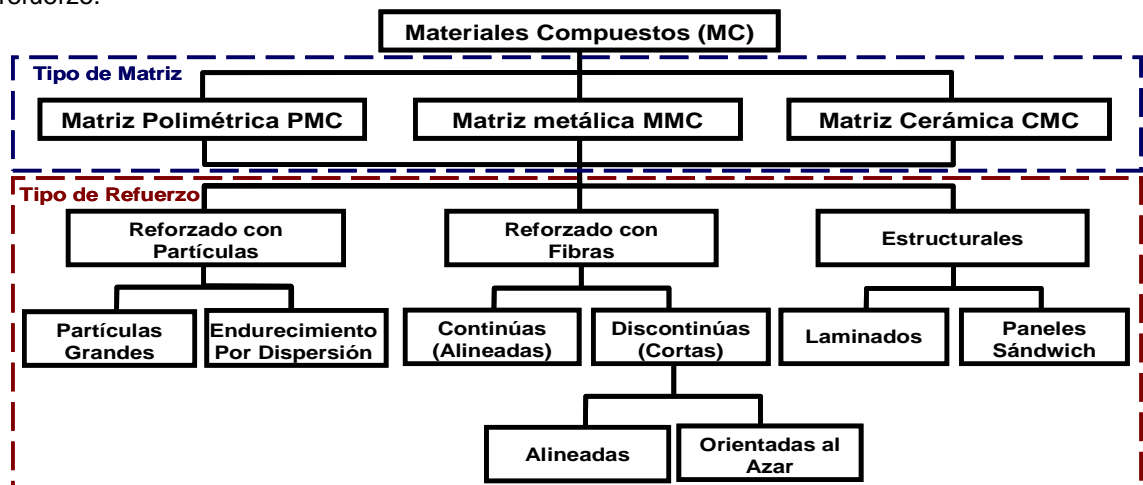
Figura 6. Modulo a Tensión Específico de materiales estructurales comunes.



Fuente: PORTOCARRERO J. "Materiales Compuestos y su Aplicación al Sector Aeronáutico". Revista de Ciencia y Tecnología. Fuerza Área Colombiana. Julio de 2008.

7.1.2. Clasificación de los Materiales Compuestos. Los materiales compuestos pueden tener una matriz que puede ser polimérica, cerámica o metálica [19], cada uno de estos se subdivide dependiendo del tipo de material de refuerzo o relleno que posean como se aprecia en la Figura 7.

Figura 7. Clasificación de los Materiales Compuestos, de acuerdo al tipo de matriz y al tipo de refuerzo.



Fuente: PORTOCARRERO J. Apuntes clase Materiales Avanzados. Tema Materiales Compuestos 2008.

La matriz juega un papel muy importante porque no solo mantiene adheridas las fibras o partículas, sino que también transfiere las cargas de unas a otras y las

[19] SP SYSTEMS. SP Systems Guide to Composites. Composites Engineering Materials. 19-07-2001

sustenta permitiendo que estas desarrollen su capacidad estructural. La selección del tipo de matriz está condicionada fundamentalmente por la temperatura de servicio a la cual va a estar expuesto el material. [20,21] Las matrices poliméricas se utilizan hasta 200 °C, las matrices metálicas hasta casi la temperatura de fusión de la aleación correspondiente y las matrices cerámicas para temperaturas extremas.[22]

Los materiales compuestos pueden tener una matriz que puede ser polimérica, cerámica o metálica, cada uno de estos se subdivide dependiendo del tipo de material de refuerzo o relleno que posean [11].

- Compuestos de Matriz de Polímero (PMC), son los más comunes. También conocidos como FRP, Polímeros Reforzados con Fibras, estos materiales usan una resina polimérica como la matriz, y una variedad de fibras como materiales de refuerzo, las fibras más utilizadas son fibras de vidrio, fibras de carbono y fibras de arámda (kevlar)
- Compuestos de Matriz de Metálica (MMC), son materiales que usan un metal como matriz (aluminio, cobre, acero, etc.), son reforzados por fibras (carburo de silicio, boro, etc.) o por dispersión de whiskers o de partículas duras (carburos, óxidos, etc.) en la matriz. Los MMC presentan un uso cada vez más frecuente en la industria automotriz y aeroespacial.
- Compuestos de la Matriz Cerámica (CMC), estos materiales usan un material cerámico como la matriz y como material de refuerzo fibras de diferentes materiales metálicos (fibras de acero, cobre y otros metales), polímeros (fibras de arámda, de polietileno de alta densidad etc.) cerámicos (como ejemplo clásico esta el concreto). Estos materiales compuestos tienen la ventaja que algunos de ellos se pueden usar a temperaturas muy elevadas.

8.2. MATERIALES COMPUESTOS DE MATRIZ METALICA (MCM)

Compuestos de Matriz Metálica (MMC). Son materiales que usan un metal como matriz (aluminio, cobre, acero, etc.), son reforzados por fibras (carburo de silicio, boro, etc.) o por dispersión de whiskers o de partículas duras (carburos, óxidos, etc.) en la matriz. Los MMC presentan un uso cada vez más frecuente en la industria automotriz y aeroespacial [23].

Los MCM están constituidos por dos materiales disímiles: una matriz metálica que es la fase continua y los refuerzos que pueden ser fibras o partículas cerámicas y

[20] SHACKELFORD, F.; GÜEMES, A. “Introducción a la Ciencia de Materiales para Ingenieros”. Cuarta Edición. Prentice Hall. 1998.

[21] SMITH, W.F. “Fundamentos de la Ciencia e Ingeniería de Materiales. Tercera Edición. McGrawHill. 1998.

[22] FERNÁNDEZ P., et al. “Aplicaciones de los Materiales Compuestos de Matriz Metálica en el Sector Eléctrico y Electrónico” Revista DYNA. Universidad Nacional de Colombia. 2005.

[23] COURTHEY T. H., “Mechanical Behavior of Materials”. Mc Graw Hill (2000). P. 244 – 289

son la fase discontinua. Además en la zona de contacto entre estas dos fases se encuentra la interfase [24].

Por otra parte, las propiedades físicas, mecánicas y químicas que un MCM mostrará durante su desempeño están intrínsecamente ligadas a la naturaleza de los constituyentes presentes en el material compuesto y a la cinética de las transformaciones de fase de la matriz metálica que tienen lugar durante su solidificación y enfriamiento.

En general y dependiendo del tipo de refuerzo, hay tres tipos principales de materiales compuestos de matriz metálica: los reforzados con fibra continua, los reforzados con fibra discontinua (p. ej. whiskers) y los reforzados con partículas. Desde el punto de vista de propiedades mecánicas, se puede obtener una gran mejora mediante el uso de fibras continuas, reforzando en la dirección del esfuerzo aplicado; mientras que con whiskers y partículas se experimenta una disminución de resistencia pero se obtiene una gran isotropía en el material. En este proyecto interesan los MCM reforzados con partículas, debido a que con el proceso Osprey se obtienen este tipo de materiales.

8.3. MCM REFORZADOS CON PARTÍCULAS.

La incorporación o nucleación de partículas finas dentro de una matriz metálica hace que durante los procesos de deformación o sollicitación mecánica las dislocaciones se fuercen a arquearse alrededor de estos obstáculos, generando un fortalecimiento de la matriz. El uso de partículas como material reforzante tiene una mayor acogida en los MCM, ya que implican menores costos y permiten obtener una mayor isotropía de propiedades en el producto. Otra de las ventajas del reforzamiento con partículas en especial cuando se trata de carburos es el aumento de la resistencia al desgaste del MCM. Sin embargo, para tener éxito en el MCM desarrollado, se debe tener un estricto control del tamaño y la pureza de las partículas de refuerzo utilizadas. Los refuerzos típicos de mayor uso en forma de partícula son los carburos (TiC , B_4C , SiC), los óxidos (SiO_2 , TiO_2 , ZrO_2 , MgO), la mica y el nitruro de silicio (Si_3N_4). En los últimos años se han empezado a utilizar partículas de refuerzo de compuestos intermetálicos, principalmente de los sistemas Ni-Al y Fe-Al [12,25].

Por su parte, una de las matrices más usadas para la fabricación de MCM son las aleaciones de aluminio, dado que este material presenta una baja densidad, buena resistencia a la corrosión y propiedades mecánicas aceptables [26]. Además el punto de fusión del aluminio y sus aleaciones es lo suficientemente alto

[24] GONZALEZ J.; ATEHORTUA D. J. “Diseño y Construcción de un Sistema Osprey para la Producción de Materiales Compuestos de Matriz de Aluminio”. Universidad del Valle. 2008

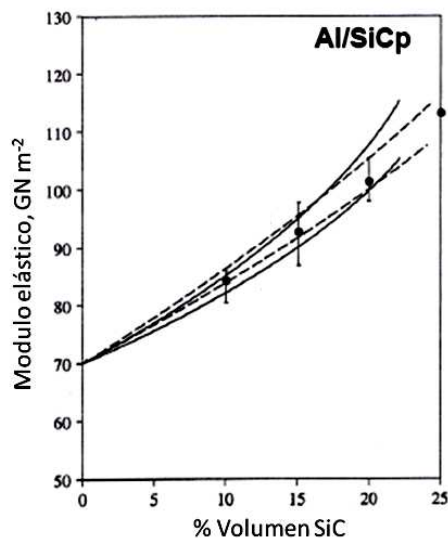
[25] RANDALL M., G. “Powder Metallurgy Science”. Second Edition. MPIF. 1994.

[26] ORTIZ J. L. “Composites de matriz de aluminio reforzados con nitruro, una alternativa en el desarrollo de materiales de alto desempeño”. Revista electrónica del Tecnológico de Monterrey. Campus Querétaro. México. Diciembre 11 del 2000. Páginas 4.

como para satisfacer muchos requerimientos de aplicaciones, y al mismo tiempo lo suficientemente bajo como para que su procesamiento en la elaboración de materiales compuestos no presente complicaciones severas. Otro punto a favor del aluminio, es su alta conductividad térmica la cual es una propiedad deseable en algunas aplicaciones como sumideros electrónicos de calor y estructuras espaciales. Los materiales compuestos de matriz de aluminio reforzados con partículas de forma irregular de alúmina y carburo de silicio en el rango de 3 a 200 μm de diámetro son de bajo costo [27]. Al adicionar un 20% de SiC a una aleación de aluminio 6061 la resistencia a la tracción puede aumentar de 310 a 496 MPa y el módulo de elasticidad puede aumentar de 69 a 103 GPa. Ahora al adicionar un 40% en volumen de partículas de SiC a una aleación de aluminio, puede aumentar su resistencia en un 60% y duplicar su rigidez, también mejoran la resistencia al creep, la resistencia a altas temperaturas y se reduce el coeficiente de expansión térmica [28].

En general las propiedades mecánicas del MCM dependen de la forma, tamaño, cantidad y distribución del refuerzo en la matriz. En la Figura 8, se muestra un ejemplo de aluminio reforzado por dispersión de partículas de carburo de silicio (SiC), en esta se puede apreciar cómo se incrementa la rigidez del compuesto a medida que la proporción en volumen del refuerzo se incrementa [12].

Figura 8. Muestra el aumento de el modulo de elasticidad con el incremento de volumen partículas de SiC, en una matriz de aluminio.



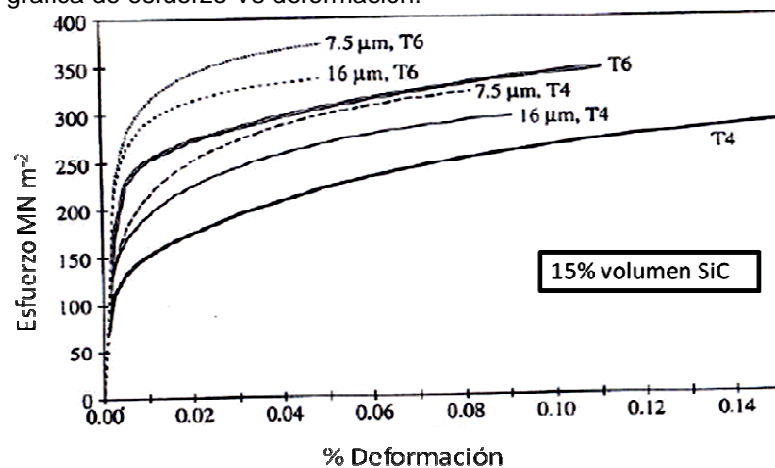
Fuente: PORTOCARRERO J. Anteproyecto de Tesis Doctoral "Síntesis y Caracterización de MMC Obtenidos por el Proceso Osprey con Matriz de Al y Reforzamiento de Partículas de Carburos Dobles" Universidad del Valle. 2006

[27] HO AND LAVERNIA E.J. "The Efecct of Ceramic Reinforcement on Residual Stresses During Atomization and Co-deposition of Metal Matrix Composites". Acta Metalurgica. Inc. Vol. 34, N 12, pp. 1911-1918. 1996.

[28] MORTENSEN, A. | Swiss Federal Institute of Technology, 1015 Lausanne, Switzerland; T.W. Clyne | University of Cambridge CB2 3QZ, United Kingdom. "Metal-Matrix Composites: Challenges and Opportunities". http://www.mpg.de/pdf/europeanWhiteBook/wb_materials_210_213.pdf

En la Figura 9 se muestra el efecto del refuerzo de partículas de SiC de 7.5 μm y 16 μm en una matriz de aleación de aluminio A356 con dos tratamientos térmicos diferentes (T4 y T6) comparados frente a la matriz sin refuerzo en una grafica de esfuerzo Vs deformación.

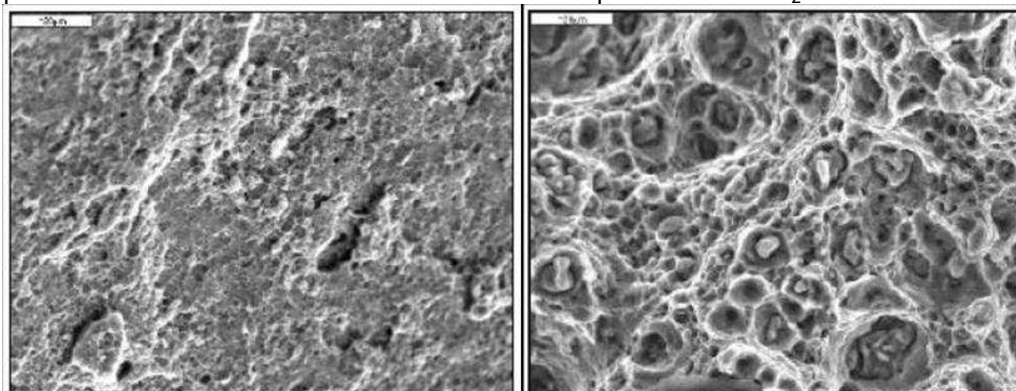
Figura 9: Efecto del refuerzo de partículas de SiC de 7.5 μm y 16 μm en una matriz de aleación de aluminio A356 con dos tratamientos térmicos diferentes (T4 y T6) comparados frente a la matriz sin refuerzo en una grafica de esfuerzo Vs deformación.



Fuente: PORTOCARRERO J. Anteproyecto de Tesis Doctoral "Síntesis y Caracterización de MMC Obtenidos por el Proceso Osprey con Matriz de Al y Reforzamiento de Partículas de Carburos Dobles" Universidad del Valle. 2006

En la Figura 10 se puede observar a través de una micrografía la diferencia en la estructura de una aleación base aluminio y la misma aleación reforzada con partículas cerámicas.

Figura 10. a) Micrografía SEM para una matriz de aluminio AA6061 sin refuerzo, b) Micrografía SEM para una matriz de aluminio AA6061 con un 5% de partículas de TiB_2 .



a) Matriz de aluminio AA 6061.

b) Compuesto con un 5% de TiB_2 .

Fuente: PORTOCARRERO J. Anteproyecto de Tesis Doctoral "Síntesis y Caracterización de MMC Obtenidos por el Proceso Osprey con Matriz de Al y Reforzamiento de Partículas de Carburos Dobles" Universidad del Valle. 2006

Cabe anotar que a partir de ciertos porcentajes de refuerzo (dependiendo de los componentes del MCM) la resistencia tensil del compuesto empieza a decrecer, debido en parte a la aglomeración de las partículas.

8.4. LECHO FLUIDIZADO

La fluidización es un proceso por el cual una corriente ascendente de fluido (líquido, gas o ambos) se utiliza para suspender partículas sólidas. Desde un punto de vista macroscópico, la fase sólida (o fase dispersa) se comporta como un fluido, de ahí el origen del término "fluidización". Al conjunto de partículas fluidizadas se le denomina también "lecho fluidizado" [29]. En otras palabras como lo menciona Rodríguez [30] "la fluidización es una operación en la que un sólido se pone en contacto con un líquido o un gas, adquiriendo el conjunto unas propiedades similares a las de los fluidos".

Se habla de fluidización particulada cuando existe una expansión grande pero uniforme del lecho a velocidades elevadas, la cual generalmente se manifiesta en sistemas líquido-sólido, para partículas muy finas y un rango limitado de velocidad. Ahora se habla de fluidización agregativa cuando los lechos de sólidos se encuentran fluidizados con gases, como el aire, donde la mayor parte del gas pasa a través del lecho en forma de burbujas o huecos que están casi exentos de sólidos, y solamente una pequeña fracción del gas fluyen por los canales existentes entre las partículas, las cuales se mueven de forma errática [31].

El flujo de fluidos a través de lechos de partículas sólidas (fluidización) es un proceso de uso amplio en operaciones industriales tales como: filtración, intercambio iónico, extracción de solventes, absorción y reactores catalíticos [31].

En un lecho de partículas con flujo ascendente, la circulación de un gas o un líquido a baja velocidad no produce movimiento de las partículas. El fluido circula por los huecos del lecho perdiendo presión. Si se aumenta progresivamente la velocidad del fluido, aumenta la caída de presión y el rozamiento sobre las partículas individuales. Se alcanza un punto en el que las partículas no permanecen por más estacionarias, sino que comienzan a moverse y quedan suspendidas en el fluido, es decir, "fluidizan" por la acción del líquido o el gas.

7.4.1. Mecanismo de Fluidización. La fluidez de un fluido se debe a la movilidad de las partículas que lo constituyen. Es posible separar las partículas de un sólido suficientemente para que ganen movilidad, mediante el flujo constante de un

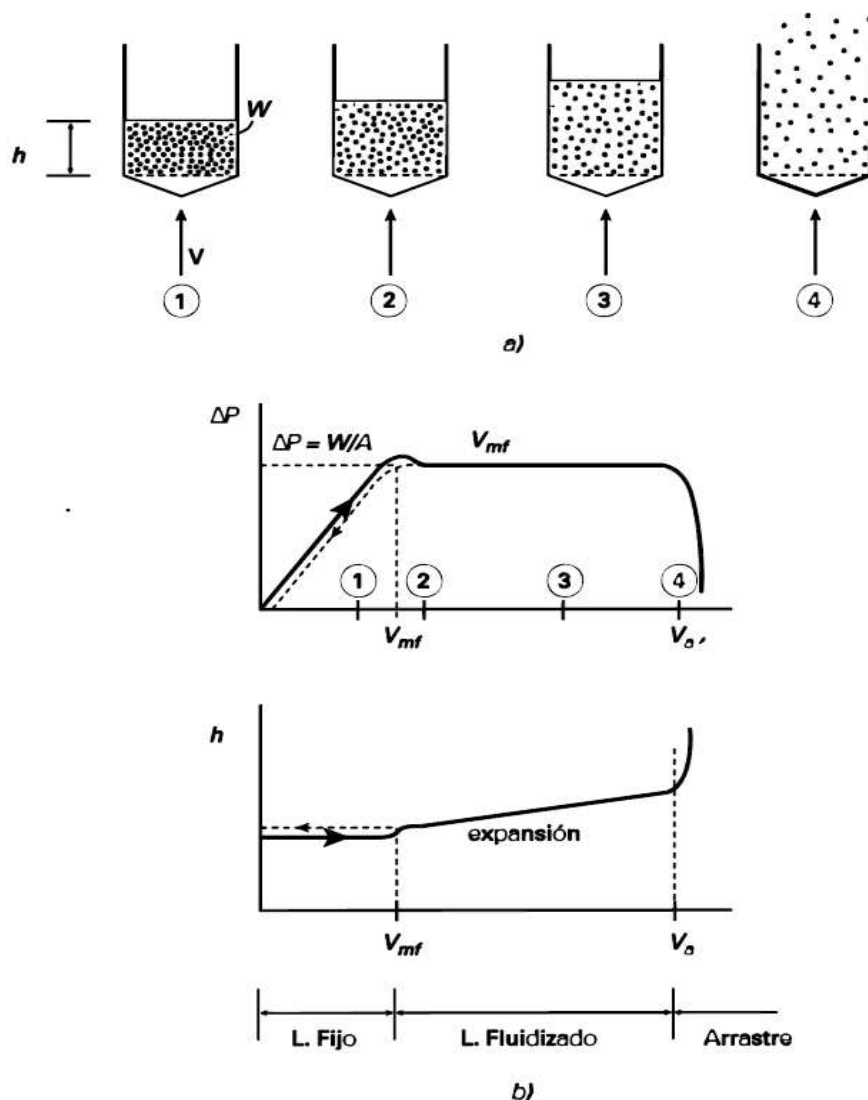
[29] WIKIPEDIA. Fluidización. <http://es.wikipedia.org/wiki/> consulta junio 5 de 2009.

[30] RODRIGUEZ, Pomatta. Tecnología de la combustión en lecho fluido. En: Ingeniería Química. Madrid No:263, (1974). pag: 203

[31] ARELLANO, J. "Lecho fijo y fluidizado". Universidad Simón Bolívar. Sección de Fenómenos de Transporte. (TF-2281). 14/03/2005.

líquido o un gas a una velocidad adecuada (U_{mf}). Cuando el fluido tiene una velocidad pequeña, los intersticios entre las partículas ofrecen la suficiente resistencia para provocar la caída de presión [32]. Esta aumenta conforme la velocidad del fluido se incrementa, pero llega un momento en que es igual al peso de las partículas y es aquí donde comienzan a separarse unas de otras, en este momento se considera que están flotando gasodinámicamente, o están en estado fluidizado. (Figura 11). La velocidad del fluido para la que se alcanzan estas condiciones se denomina velocidad mínima de fluidización (V_{mf}) y el lecho de partículas se conoce como lecho fluidizado [33].

Figura 11. Formación de un lecho fluidizado a partir de un lecho fijo de partículas: a) fases del lecho al aumentar la velocidad; b) variación de la pérdida de presión y altura del lecho.



Fuente: Molina C., C. B. Fluidización. Universidad Autónoma de Madrid. 2006. P.40

[32] PATIÑO S., J. L. Estudio experimental de las hidrodinámicas de un lecho fluidizado al vacío empleando vapor sobrecalentado. Universidad de las Américas Puebla. 2004. Cap. 1-2-3.

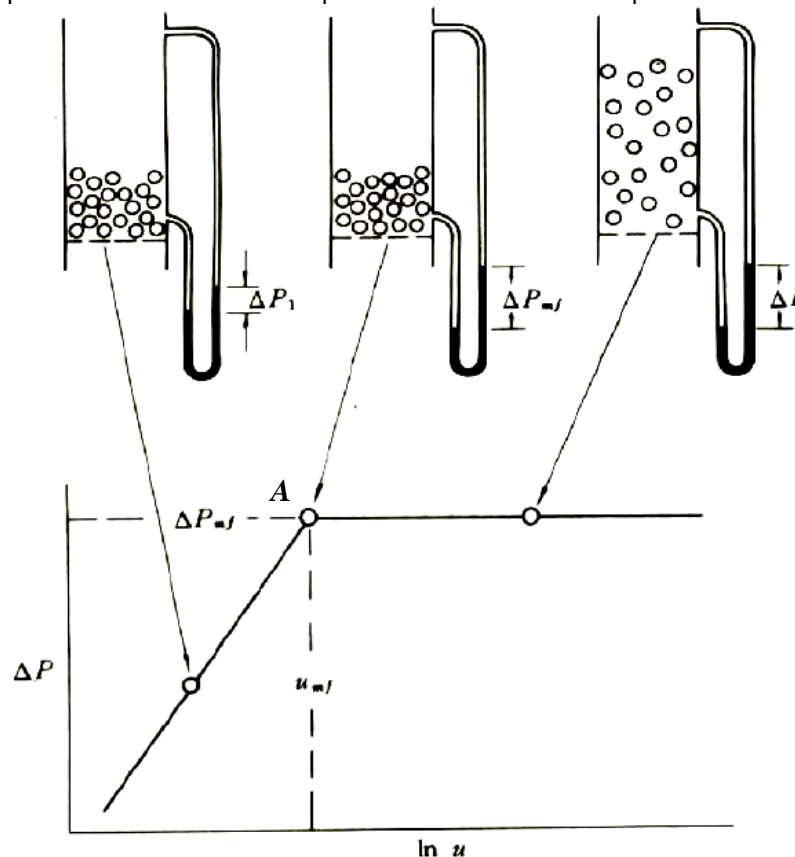
[33] MOLINA C., C. B. Fluidización. Universidad Autónoma de Madrid. 2006. P.40

Como puede observarse en la Figura 11, en un lecho fijo de partículas de sección A y cuyo peso es W , cuando se alcanza la velocidad mínima de fluidización la pérdida de carga adquiere su valor máximo (W/A) y se mantiene en él hasta que se produce el arrastre de las partículas, disminuyendo bruscamente en ese momento [33].

Se puede observar en la Figura 11 que durante este proceso el lecho tiene una progresiva expansión, por lo que va teniendo una porosidad, ϵ , cada vez mayor a partir del punto de velocidad mínima de fluidización (ϵ_{mf}). El intervalo de velocidades útil para la fluidización está comprendido entre V_{mf} y la velocidad de arrastre, V_a , para la cual las partículas sólidas son arrastradas fuera del lecho, la porosidad se aproxima a la unidad y el lecho deja de existir como tal [33].

Es posible que la velocidad del fluido siga elevándose; esto tiene como resultado que el espacio entre partículas se haga mayor, pero sin producir efecto en la diferencia de presión, como se puede apreciar en la Figura 12.

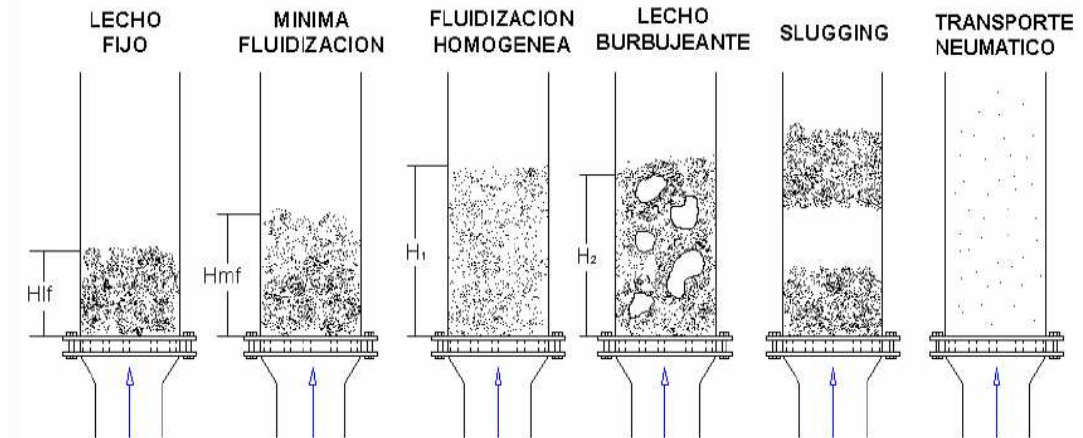
Figura 12. Comportamiento de la caída de presión en el lecho con respecto a la velocidad.



Fuente: PATIÑO S., J. L. Estudio experimental de las hidrodinámicas de un lecho fluidizado al vacío empleando vapor sobrecalentado. Universidad de las Américas Puebla. 2004. Cap. 1-2-3

La clasificación de los lechos según la velocidad del fluido aparece en la Figura 13.

Figura 13. Clasificación de los lechos según la velocidad del fluido.



Fuente: Kunii, Daizo. Levenspiel, Octave. Fluidization Engineering. New York. John Wiley and Sons, 1969

7.4.2. Porosidad Mínima de Fluidización. La porosidad del lecho cuando comienza la fluidización, recibe el nombre de porosidad mínima de fluidización (ϵ_{mf}). Esta porosidad depende de la forma y el tamaño de las partículas.

Para partículas esféricas ϵ_{mf} está comprendida entre 0,4 y 0,45, aumentando ligeramente al disminuir el tamaño de las partículas. En ausencia de datos para materiales específicos, se puede estimar ϵ_{mf} mediante las siguientes ecuaciones empíricas sugeridas por Wen y Yu [34]:

$$\frac{1}{\phi \cdot \epsilon_{mf}^3} \cong 14 \quad \text{y} \quad \frac{1 - \epsilon_{mf}}{\phi \cdot \epsilon_{mf}^3} \cong 11$$

En el caso de lechos de partículas con diámetros (d_p) entre 50- 500 μm , se puede usar la expresión:

$$\epsilon_{mf} = 1 - 0,356(\log d_p - 1)$$

7.4.3. Velocidad mínima de fluidización. La progresión desde lecho fijo a lecho fluidizado puede seguirse en un gráfico simplificado de pérdida de presión frente a la velocidad como el que recoge la Figura 12.

El punto A en la Figura 12 representa el inicio de la fluidización; por tanto, corresponde a la velocidad mínima de fluidización, la cual se podría calcular como el punto de intersección de las líneas de caída de presión en el lecho fijo y en el lecho fluidizado.

³⁴ KUNII, DAIZO. LEVENSPIEL, Octave. Fluidization Engineering. New York. John Wiley and Sons, 1969

La velocidad mínima de fluidización (V_{mf}), en la cual las partículas son separadas unas de otras y mantenidas individualmente en suspensión, depende del número de Reynolds (Re) [34]:

$$Re = \frac{\rho_f \cdot d_p \cdot v}{\mu_f}$$

Donde:

d_p : Diámetro de la partícula, [m].

μ_f : Viscosidad absoluta del fluido en el lecho, [Pa·s].

La velocidad mínima de fluidización para $Re > 1000$ es:

$$V_{mf}^2 = \frac{\Phi_s \cdot d_p}{1,75} \cdot \frac{\rho_s - \rho_f}{\rho_f} \cdot g \cdot \epsilon_{mf}^3$$

Y para $Re < 20$ es:

$$u_{mf} = \frac{(\Phi_s \cdot d_p)^2}{150} \cdot \frac{\rho_s - \rho_f}{\mu} \cdot g \cdot \left(\frac{\epsilon_{mf}^3}{1 - \epsilon_{mf}} \right)$$

7.4.4. Pérdida de presión friccional para lechos fluidizados. Cuando comienza la fluidización, la caída de presión a través del lecho equilibra la fuerza de gravedad sobre los sólidos, descontado el empuje del fluido [33]:

$$\left(\begin{array}{c} \text{fuerza de rozamiento ejercida} \\ \text{por el fluido sobre las partículas} \end{array} \right) = \left(\begin{array}{c} \text{fuerza de gravedad} \\ \text{sobre las partículas} \end{array} \right) - \left(\begin{array}{c} \text{fuerza de flotación debido} \\ \text{al fluido desalojado} \end{array} \right)$$

Si L_{mf} es la altura del lecho para la mínima fluidización, A_t el área de la sección transversal y ϵ_{mf} la porosidad mínima de fluidización, se tiene [33]:

$$\Delta P_{fr} \cdot A_t = g \left[\rho_s (1 - \epsilon_{mf}) L_{mf} \cdot A_t - \rho (1 - \epsilon_{mf}) L_{mf} \cdot A_t \right]$$

$$\left(\begin{array}{c} \text{pérdida de presión} \\ \text{friccional} \end{array} \right) \left(\begin{array}{c} \text{área de sección} \\ \text{transversal del lecho} \end{array} \right) = \left(\begin{array}{c} \text{volumen} \\ \text{de lecho} \end{array} \right) \left(\begin{array}{c} \text{fracción de} \\ \text{sólidos} \end{array} \right) \left(\begin{array}{c} \text{peso específico} \\ \text{neto de sólidos} \end{array} \right)$$

$$\Delta p_{fr} \cdot A_t = A_t \cdot L_{mf} \cdot (1 - \epsilon_{mf}) (\rho_s - \rho) g$$

Donde ρ_s es la densidad del sólido y ρ es la densidad del fluido.

Escribiendo el balance de energía mecánica entre la entrada y la salida del lecho e ignorando los efectos de energía cinética, se obtiene para la unidad de área de la sección transversal del lecho [33]:

$$\Delta p_{fr} = \rho \cdot \sum F = -(\Delta p + \rho \cdot g \cdot \Delta z) = L_{mf} \cdot (1 - \varepsilon_{mf}) (\rho_s - \rho) \cdot g$$

7.4.5. Altura del lecho. La altura del lecho fluidizado se puede calcular con la siguiente ecuación [34]:

$$W = A \cdot L_{mf} \cdot (1 - \varepsilon_{mf}) \cdot (\rho_p - \rho_f) \cdot g$$

Donde:

ε_{mf} : Porosidad mínima fluidización, (adimensional).

ρ_p : Densidad de las partículas del lecho, [kg/m³].

ρ_f : Densidad del fluido, [kg/m³].

ΔP : Caída de presión, [Pa].

L_{mf} : Longitud del lecho mínima fluidización, [m].

g : Aceleración de gravedad, [m/s²].

A : sección transversal, [m²]

W : peso de las partículas, [kg]

El Área Transversal es:

$$A = \frac{Q}{v} \quad o \quad A = \pi \cdot \frac{d_t^2}{4}$$

Donde:

Q : Caudal, [m³/s].

v : Velocidad del fluido en el lecho, [m/s].

7.4.6. Velocidad Arrastre (V_a). La velocidad arrastre, a la cual las partículas son arrastradas puesto que la fuerza de arrastre del gas iguala al peso de las partículas, depende del número de Reynolds (Re) de la siguiente forma [34]:

Para $Re < 0,4$ es:

$$u_t = \frac{1}{18 \cdot \mu} \cdot \frac{\rho_s - \rho_f}{\rho_f} \cdot g \cdot d_p^2$$

Para $0,4 < Re < 500$ es:

$$u_t = \left[\frac{4}{225 \cdot \mu} \cdot \frac{(\rho_s - \rho_f)^2}{\rho_f} \cdot g^2 \right]^{1/3} \cdot d_p$$

Para $500 < Re < 200\,000$ es:

$$u_t = \left[3,1 \cdot \frac{(\rho_s - \rho_f)}{\rho_f} \cdot g \cdot d_p \right]^{1/2}$$

8.5. TECNOLOGIA DE COINYECCION

Un coinector es un dispositivo especial que sirve para transportar partículas, mediante un gas inerte, e introducirla en algún medio. Para el caso particular del proceso Osprey este dispositivo se utiliza para inyectar las partículas que serán los refuerzos en las gotas metálicas atomizadas.

Entre los coinectores usados por algunos investigadores se encuentran:

Tipo lecho fluidizado

Tipo venturi

Tipo Blow Vessel (alimentado por descarga de gas)

Para este proyecto lo más conveniente por precio y facilidad de adquisición es un coinector tipo lecho fluidizado, por lo tanto a continuación se va a realizar un breve comentario sobre él.

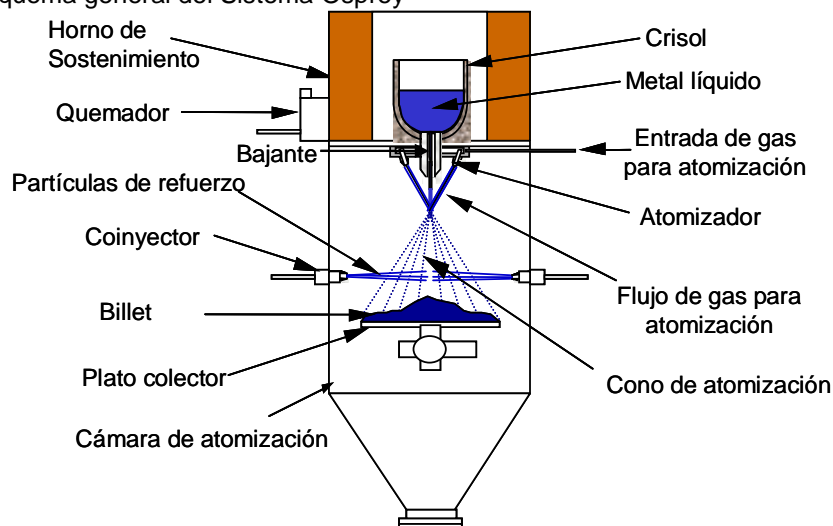
Co- inyector tipo lecho fluidizado. En este dispositivo, el gas fluye a través de un lecho empacado el cual, al aumentar su caudal comienza a expandirse hasta lograr su suspensión. La fluidización mínima ocurre cuando la fuerza de arrastre ejercida sobre las partículas se iguala a la fuerza gravitatoria, sosteniendo a las partículas dentro del recipiente. En este punto las partículas tienen la libertad de moverse a cualquier lugar dentro del contenedor a medida de que aumenta el flujo de gas (sobrepasando la fluidización mínima), este arrastra las partículas y las inyecta en el cono de atomización; como se comentó en el tema de fluidización.

8.6. FUNDAMENTOS DEL PROCESO OSPREY

En el proceso Osprey (Figura 14) se atomiza un metal o aleación en estado líquido, el cual se funde en un horno de fusión aparte y se vierte por medio de un canal o directamente sobre un crisol en el horno de sostenimiento (etapa de fusión). En la parte inferior de este último se encuentra conectado un bajante que transfiere el metal líquido al atomizador, en donde se desintegra la vena de metal fundido con el choque de un gas inerte al metal a alta velocidad, usualmente N_2 , convirtiéndolo así en gotas finas (entre 10 y 400 micras de diámetro) que caen libremente formando un cono llamado cono de atomización (etapa de atomización)

[35]. Durante el vuelo las gotas de metal se refuerzan con las partículas cerámicas que constituirán la fase reforzante del MCM mediante el impacto de chorros de gas a alta velocidad, los cuales transportan en suspensión las partículas. A esta etapa del proceso se le denomina etapa de coinyección. Los dispositivos que generan los chorros de gas con partículas en suspensión se encuentran ubicados a una altura conveniente y en posición normal al eje de simetría del cono. Las gotas de metal ya inoculadas comienzan a solidificar rápidamente en vuelo debido a las elevadas relaciones área/volumen y a la convección forzada causada por los gases circundantes a alta velocidad, logrando producir un material muy homogéneo y de microestructura refinada, no dendrítica [36], y se recogen antes de que solidifiquen por completo en un plato giratorio refrigerado, para formar de esta manera una preforma de MCM llamada “billet”. A esta última etapa se le conoce como etapa de deposición [37].

Figura 14. Esquema general del Sistema Osprey



Fuente: Fuente: PORTOCARRERO J. Anteproyecto de Tesis Doctoral “Síntesis y Caracterización de MMC Obtenidos por el Proceso Osprey con Matriz de Al y Reforzamiento de Partículas de Carburos Dobles” Universidad del Valle. 2006

Los parámetros de atomización y coinyección se fijan de manera tal que las gotas a ser impactadas se encuentran en estado semisólido. En algunos casos, la densidad del producto es suficiente para usarlo directamente, y en otros se requiere de posteriores etapas de densificación, tales como extrusión o forja en caliente. Mediante este proceso sólo se pueden obtener formas de geometría simple, como laminas, cilindros, tubos, discos y anillos. Estos procesos están siendo aplicados a aleaciones de Ni, Cu, Al y aceros rápidos de herramientas.

[35] KOZAREK R.. “Spray Forming-Aluminum”. Alcoa Technical Center. Third Annual Report (Phase II). 1998, p 98

[36] BAILE, M. Conformación en estado semisólido. CMEM. 2005. P. 12-15.

[37] SEPÚLVEDA W., J. R. “Planta de Atomización-Coinyección-Deposición de Materiales Compuestos Base Cobre”. Memoria para optar al título de ingeniero civil-mecánico. Universidad de Chile. 1999.

Debido a las altas velocidades de solidificación una de las ventajas de este proceso es la fabricación de aleaciones con microestructuras refinadas, esto es tamaños de grano y espacios interdendríticos pequeños, con poca o nula microsegregación de elementos aleantes, con aparición de fases metaestables y aumento de la solubilidad de elementos aleantes en las fases sólidas [38]. Además el proceso permite obtener composiciones muy precisas con poca o ninguna oxidación del metal fundido. Asimismo, algunos equipos permiten obtener billets hasta de 700 kg, cerca de 15 veces más de lo que se puede obtener con procesos convencionales de metalurgia de polvos a un costo sensiblemente inferior.

Los principales componentes del equipo de Osprey [35-38] son:

1. **El sistema de calentamiento:** conformado a su vez por un horno de fusión y un horno de sostenimiento, permite el calentamiento del metal a la temperatura de trabajo. En particular, el horno de fusión se utiliza para fundir el metal llevando a cabo todas las buenas prácticas de fundición necesarias para garantizar una buena calidad del metal fundido. Por su parte el horno de sostenimiento tiene como objetivo mantener la temperatura de trabajo del metal fundido constante al momento de atomizar, garantizando al mismo tiempo un aporte constante de metal líquido al sistema de atomización.
2. **El sistema de atomización:** permite la disgregación de la vena de metal líquido en gotas finas.
3. **El sistema de coinyección:** permite la penetración de las partículas de refuerzo dentro las gotas de metal atomizado.
4. **El sistema de recolección:** recibe el metal atomizado y coinyectado en un estado semisólido y lo enfría.

7.6.1. Atomización. La atomización es la etapa más crítica del proceso Osprey, gran parte del éxito del proceso depende de las variables que en esta etapa se manejan debido a que la habilidad para ejercer un amplio control sobre el proceso está íntimamente relacionada con los mecanismos que gobiernan la formación de las gotas [39].

La atomización es una operación que se encarga de crear grandes cantidades de área superficial, mediante la transferencia de energía cinética del medio de atomización a una vena de metal líquido que cae libremente por gravedad o forzadamente por una diferencia de presiones. La energía cinética suministrada por el medio de atomización se utiliza para vencer las fuerzas provenientes de la tensión superficial de la interfase líquido/gas, las fuerzas cortantes viscosas que

[38] PORTOCARRERO J. Anteproyecto de Tesis Doctoral “Síntesis y Caracterización de MMC Obtenidos por el Proceso Osprey con Matriz de Al y Reforzamiento de Partículas de Carburos Dobles” Universidad del Valle. 2006

[39] JAHIDER GONZALEZ S., J.: ATEHORTUA L., D. F. Diseño y Construcción de un Sistema Osprey para la Producción de Materiales Compuestos de Matriz de Aluminio. UNIVALLE. 2008.

aparecen normalmente cuando se intenta deformar un líquido y la inercia del metal a atomizar. Por lo general la eficiencia de la operación es relativamente baja, dependiendo del medio de atomización; en particular para la atomización con gas la eficiencia es del orden del 3%, por lo que si no se tiene un sistema de recirculación de gas la operación puede ser costosa [39].

La tecnología de atomización que se utiliza en el proceso Osprey ha sido adoptada de las prácticas convencionales de atomización de polvos. La energía que se requiere para la atomización puede ser obtenida de varias maneras, y dependiendo de la manera que se suministra esta energía, los procesos de atomización se pueden clasificar principalmente en las siguientes categorías [39]:

- *Atomización con dos fluidos*: Se le llama así por la presencia de dos fluidos en el proceso, uno es el líquido que se va a atomizar y el otro es el medio de atomización. El medio de atomización puede ser agua, aceite o gas.
- *Atomización por vacío*: El metal a atomizar, que contiene gases disueltos, se inyecta en un cámara al vacío, por lo que los gases atrapados se liberan bruscamente causando la deformación y desintegración del metal fundido.
- *Atomización centrífuga*: El metal fundido se inyecta sobre una superficie que rota a altas velocidades, por lo que por la acción de las fuerzas centrífugas se forma una lámina de líquido que se hace inestable y termina rompiéndose en gotas durante el vuelo.
- *Atomización en gotas de igual tamaño*: Hace referencia a la formación de gotas de tamaños iguales a partir de una vena del líquido en un proceso gobernado principalmente por la tensión superficial del líquido.

Para el proceso Osprey, es necesario que las gotas atomizadas cumplan unas especificaciones particulares respecto a la distribución granulométrica, el tamaño promedio y la morfología, pues estos aspectos afectan críticamente la microestructura final en el depósito. Las gotas presentan normalmente un tamaño medio de 20 micras [36].

La desintegración de una vena de metal líquido en gotas es consecuencia de las perturbaciones mecánicas que el atomizador le confiere al líquido. La mayoría de los mecanismos de formación de gotas implican dos procesos fundamentales: La formación de una onda perturbadora inicial en el líquido cuya amplitud es creciente con el tiempo, y el desprendimiento de ligamentos del líquido perturbado cuando la onda alcanza cierto valor crítico de amplitud [40].

El factor más importante que afecta el proceso de desintegración es la velocidad relativa que hay entre el líquido y el gas de atomización, y de acuerdo ese valor de velocidad relativa el proceso se puede clasificar en uno de los tres regímenes siguientes: el régimen de Rayleigh, el primer y segundo régimen de viento y el régimen de atomización. Este último se presenta a altas velocidades relativas,

[40] NUÑEZ I. A., LOBEL T., PALMA R. "Atomizers for Molten Metals: Macroscopic Phenomena and Engineering Aspects". Atomization and Sprays, Vol 9, pp. 581-599, 1999.

normalmente presentes en los procesos de *Atomización con dos fluidos*. Generalmente la atomización de metales ocurre en 5 etapas diferentes:

- Formación de ondas en el líquido debido a las perturbaciones iniciales,
- Formación de ligamentos a partir del líquido perturbado,
- Formación de gotas debido a la desintegración de los ligamentos,
- Rompimiento de las gotas grandes, y
- Coalescencia de las gotas por colisiones entre ellas.

En la primera etapa, se producen ondas en el líquido como consecuencia de las perturbaciones iniciales que están presentes en la superficie del líquido. Existen varias fuentes de perturbaciones iniciales, pero las más importantes están dentro del bajante. Por ejemplo, se pueden producir perturbaciones iniciales gracias a la separación del flujo en las esquinas pronunciadas del bajante y por la rugosidad de la pared interior. En la segunda etapa la amplitud creciente de las ondas alcanza un valor crítico. Cuando esto ocurre se desprenden ligamentos del líquido perturbado con relaciones de aspecto altas. En la tercera etapa los ligamentos que se desprendieron en la segunda etapa se vuelven inestables y se forman gotas debido a la esferoidización que sufren por las altas relaciones de aspecto. Luego en la cuarta etapa aquellas gotas de tamaño mayor a cierto valor crítico que se formaron en la tercera etapa sufren una desintegración posterior debido a que las fuerzas aerodinámicas superan las fuerzas de la tensión superficial, por lo que se deforman y luego se rompen. A esta etapa se le conoce como atomización secundaria. En la quinta etapa se producen colisiones entre las gotas que se formaron en las etapas anteriores llevando a una coalescencia entre las gotas bajo ciertas condiciones especiales [39,40].

Se debe aclarar que cuando se atomizan metales, la solidificación afecta el proceso de desintegración y por consiguiente el tamaño y la morfología de las gotas. Por ejemplo, si el tamaño que alcanzan las gotas que sufren atomización secundaria es muy pequeño, estas pueden solidificar primero o pueden contener altas fracciones sólidas que impiden una desintegración posterior. Además, si las gotas están completamente sólidas, en la quinta etapa las colisiones entre las gotas no necesariamente producirán coalescencia. Por consiguiente, se puede decir que la competencia que existe entre la esferoidización y la solidificación determina la morfología final de los polvos que se producen durante la atomización [39,40].

En principio el proceso de atomización de líquidos es más complicado que lo que se ha descrito anteriormente, y los mecanismos de formación de gotas pueden ser diferentes, pues dependen de factores como la geometría del líquido (si es un cilindro o una lámina) y de las condiciones de atomización utilizadas.

7.6.2. Mecanismos de Atomización. La desintegración de una vena de metal líquido en gotas es consecuencia de las perturbaciones mecánicas, que el atomizador le confiere al líquido. La mayoría de los mecanismos de formación de

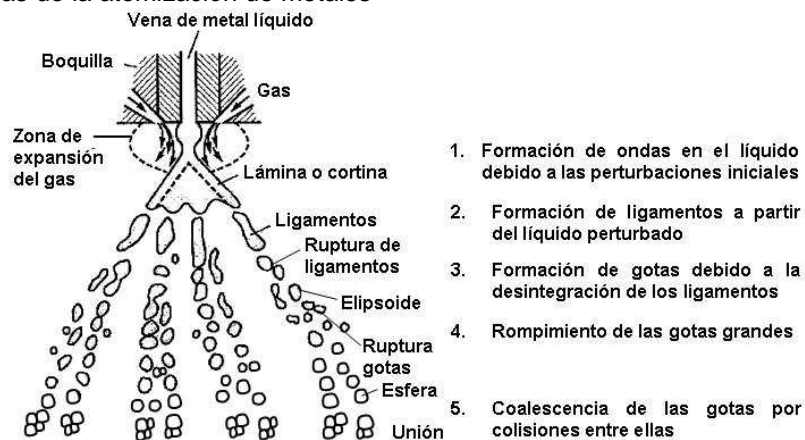
gotas implican dos procesos fundamentales: la formación de una onda perturbadora inicial en el líquido cuya amplitud es creciente con el tiempo, y el desprendimiento de ligamentos del líquido perturbado cuando la onda alcanza cierto valor crítico de amplitud. [40]

El factor más importante que afecta el proceso de desintegración es la velocidad relativa que hay entre el líquido y el gas de atomización, y de acuerdo ese valor, el proceso se puede clasificar en uno de los tres regímenes siguientes: el régimen de Rayleigh, el primer y segundo régimen de envolvimiento y el régimen de atomización. Este último se presenta a altas velocidades relativas, normalmente presentes en los procesos de Atomización con dos fluidos. [40]

Generalmente la atomización de metales ocurre en cinco etapas diferentes (ver Figura 15) [40]:

- Formación de ondas en el líquido debido a las perturbaciones iniciales,
- Formación de ligamentos a partir del líquido perturbado,
- Formación de gotas debido a la desintegración de los ligamentos,
- Rompimiento de las gotas grandes,
- Coalescencia de las gotas por colisiones entre ellas.

Figura 15. Etapas de la atomización de metales



Fuente: GONZALEZ S., J.; ATEHORTUA L., D. F. Diseño y Construcción de un Sistema Osprey para la Producción de Materiales Compuestos de Matriz de Aluminio. UNIVALLE. 2008.

En la primera etapa, se producen ondas en el líquido como consecuencia de las perturbaciones iniciales que están presentes en la superficie del líquido; estas perturbaciones iniciales presentan varias fuentes, pero las más importantes están dentro del bajante. Por ejemplo, se pueden producir perturbaciones iniciales por la separación del flujo en las esquinas pronunciadas del bajante y por la rugosidad de la pared interior. En la segunda etapa la amplitud creciente de las ondas alcanza un valor crítico. Cuando esto ocurre se desprenden ligamentos del líquido perturbado con relaciones de aspecto altas. En la tercera etapa los ligamentos que se desprendieron en la segunda etapa se vuelven inestables y se forman gotas debido a la tendencia de lograr niveles de menor energía, produciendo la

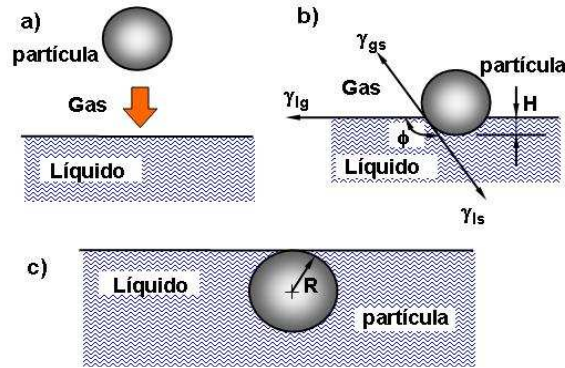
esferoidización de los ligamentos, disminuyendo sus relaciones de aspecto. Luego en la cuarta etapa, aquellas gotas de tamaño mayor a cierto valor crítico que se formaron en la tercera etapa, sufren una desintegración posterior, debido a que las fuerzas aerodinámicas que se generan por la velocidad relativa entre el gas y las gotas, superan las fuerzas de restauración provenientes de la tensión superficial. A esta etapa se le conoce como atomización secundaria. En la quinta etapa, se producen colisiones entre las gotas que se formaron en las etapas anteriores, generando coalescencia entre las gotas bajo ciertas condiciones especiales. [40]

Se debe aclarar que cuando se atomizan metales, el proceso de solidificación de estos afecta la desintegración y por consiguiente el tamaño y la morfología de las gotas. Por ejemplo, si el tamaño que alcanzan las gotas al llegar a la atomización secundaria es muy pequeño, estas pueden solidificar primero o pueden contener altas fracciones sólidas que impiden la desintegración posterior. Además, si las gotas están completamente sólidas, en la quinta etapa las colisiones entre las gotas tenderá a no producir coalescencia. Por consiguiente, se puede decir que la competencia que existe entre los procesos de esferoidización y solidificación determina la morfología final de los polvos que se producen durante la atomización. [40]

7.6.3. Fenómenos de penetración de partículas en gotas metálicas. El proceso de inoculación o incorporación de la fase de refuerzo en las gotas de metal fundidas, así como el diseño de los dispositivos de inoculación en el proceso Osprey es tan difícil como el de atomización, de tal forma que si no se tiene completo control de la inoculación, no se puede esperar alcanzar MCM con altas propiedades mecánicas. Los aspectos básicos de éste fenómeno han sido desarrollados por Wu, Zhang y Lavernia y muestran que la penetración de partículas cerámicas en gotas metálicas durante la atomización depende de la tensión superficial Líquido-Gas y de la fuerza de arrastre que experimenta la partícula en el seno de las gotas metálicas [37,40]. Vale la pena mencionar que en la literatura [40] se recomienda utilizar relaciones entre diámetros de partícula/gota iguales o cercanos a 1/10. Por otra parte el diseño de los dispositivos requeridos para el transporte y aceleración de las partículas de refuerzo presentan un elevado nivel de complejidad, tanto en sus aspectos teóricos como de monitoreo, por lo cual optamos por utilizar para este proyecto un sistema de coinyección disponible comercialmente y hacer algunas modificaciones con el fin de adaptarlo a nuestro requerimiento.

El proceso de inoculación tiene lugar cuando un volumen de partículas cerámicas o intermetálicas que constituyen la fase reforzante del MCM se hace impactar a alta velocidad contra el cono de atomización conteniendo las gotas recién atomizadas y las cuales se encuentran en estado líquido o semilíquido (con cierta fracción sólida en su seno) con el fin de penetrarlas (Figura 16). Esta velocidad le es comunicada a las partículas por medio de un gas de transporte que las contiene en suspensión, que es inerte a la aleación que se va a reforzar.

Figura 16. Esquema de la inoculación de una partícula de refuerzo en el seno de una gota líquida.



Fuente: GONZALEZ S., J.: ATEHORTUA L., D. F. Diseño y Construcción de un Sistema Osprey para la Producción de Materiales Compuestos de Matriz de Aluminio. UNIVALLE. 2008.

7.6.4. Distancia y ángulo de inoculación. De acuerdo a la distribución del tamaño de partículas que se ha formado el cono de atomización, se selecciona una distancia a partir del punto de atomización a la cual conviene impactar las partículas que constituirán la fase discontinua del MCM, teniendo presente la fracción volumétrica deseada. La distancia de inoculación, debe seleccionarse cuidadosamente en función de la dinámica de los gases y la fracción sólida de las gotas, de tal manera que no sea tan pequeña que interfiera con la atomización, ni tan larga que las gotas se encuentren con fracciones sólidas tan altas que requieran excesiva energía para ser penetradas [37,40].

La Figura 17 muestra la fracción sólida y la temperatura de la gota atomizada de una aleación de aluminio en función de la distancia de vuelo, donde se puede apreciar los rangos de distancias recomendadas para la inoculación y la deposición (la cual se tratará más adelante). En la Figura 18 se muestra un esquema del proceso de inoculación de las partículas en el cono de atomización. La distancia óptima de inoculación en general está entre 15 y 25 cm por debajo del punto de atomización, según lo reportan diversos autores en base a un gran número de experimentos de inoculación [40,41], como se muestra en la Figura 17.

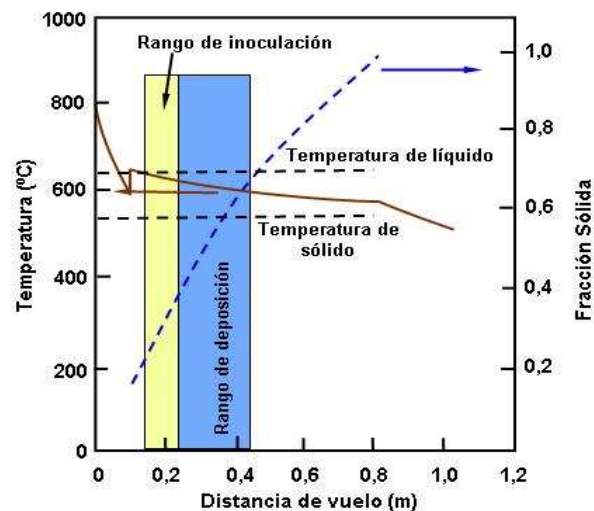
El ángulo de inoculación se define como el ángulo formado por la intersección entre los ejes de simetría de los coinyectores, normalmente ubicados a 180° entre ellos, ubicados de manera transversal al cono de atomización por tres razones [40,41]:

1. Para que las componentes verticales del rango de velocidades de las gotas no sea interferida por las componentes del flujo de los gases de coinyección y de esta manera se perturbe lo menos posible el cono de atomización.

⁴¹ Lavernia E. J. and Wu Y.. "Spray Atomization and Deposition". John Wiley & Sons Ltda(1996).

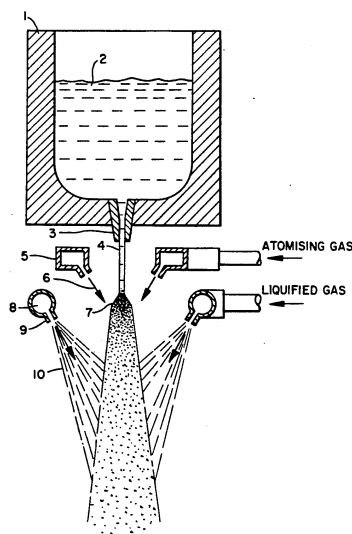
2. Ángulos positivos respecto de la horizontal, ocasionaran disminución de la velocidad relativa entre las partículas y las gotas disminuyendo la energía del impacto.
3. Experimentalmente, se ha determinado que de esta forma resulta mejor la dispersión de las partículas de refuerzo al interior de las gotas, siempre y cuando existan condiciones apropiadas de velocidad del gas con respecto al volumen de partículas en suspensión.

Figura 17. Fracción sólida y temperatura de las gotas de una aleación de Al-Si atomizada como función de la distancia de vuelo



Fuente: Lavernia E. J. and Wu Y.. "Spray Atomization and Deposition". John Wiley & Sons Ltda(1996).

Figura 18. Cono de atomización y sistema de coinyección impactando las partículas de refuerzo a la altura determinada.



Fuente: UNITED STATES PATENT. Atomizing Apparatus and Process. Patent Number: 5,196,049. Mar. 23,1993.

9. MARCO REFERENCIAL

Anisotropía (anisotropy): Tendencia de un material a presentar una diferencia en el valor de sus propiedades en función de la dirección en la que se miden. Aplicado a un laminado, cuando las propiedades en direcciones paralelas a la longitud y anchura del mismo difieren, o cuando la propiedad en la dirección paralela al espesor no coincide con las de laminación.

Antioxidante (antioxidant): Aditivo que previene la degradación oxidativa de la matriz.

ANSI (American National Standards Institute): Organización que promueve el desarrollo de estándares en los Estados Unidos. Es miembro de la ISO (International Organization for Standardization).

Atomización (atomization): Acción y efecto de atomizar.

Atomización de metales (spray metals): Acción y efecto de pulverización de metales en estado líquido. La atomización implica la conversión de un metal fundido en una nube de pequeñas gotas que se solidifican formando polvos. El metal fundido fluye a través de una boquilla y se atomiza inmediatamente por chorros de gas.

Atomización con gas (Gas atomization): Es la fragmentación de un líquido en gotas finas por la acción de un chorro gaseoso (constituye el medio de atomización) que impacta sobre este.

Boquilla (nozzle): Unión entre el cabezal de mezcla de una máquina de RIM y la cavidad del molde.

Burbujas ocluidas (air-bubble void): Porosidad presente en el material, debida a la inclusión de aire durante la formación del material compuesto, y que no han podido ser eliminados.

Diseño asistido por ordenador CAD (Computer Aided Design): Los programas de CAD son primer paso del proceso de fabricación aditiva ya que la pieza debe ser diseñada para que la máquina la impresora 3d la produzca.

Carburo de silicio (silicon carbide): Refuerzo en forma de whisker, partícula o fibra corta o larga, que es utilizado como refuerzo en materiales compuestos de matriz metálica o cerámica debido a su alta resistencia, módulo y densidad semejante a la del aluminio.

Coeficiente de expansión térmica (thermal expansion coefficient): Cambio en longitud o volumen por unidad de longitud o volumen producido por el aumento de un grado en la temperatura.

Compuesto (Material Compuesto - Composite): Consiste en una combinación de dos o más materiales insolubles que difieren en forma y composición química, los cuales no cambian de composición química durante la manufactura del material compuesto y forman una interfase entre sí. La sinergia de los materiales hace que las propiedades de los productos acabados, sean superiores a la suma de las propiedades de los productos individuales.

Contenido en huecos (void content): Porcentaje en volumen de huecos.

Cuerpos extraños: Partículas extrañas ocluidas durante el conformado del material, como polvo o suciedad.

Estabilidad dimensional (dimensional stability): Capacidad de una pieza para mantener la forma precisa en la cual ha sido moldeada.

Fluidización (Fluidization): En ingeniería, proceso por el que determinados sólidos, generalmente con granulometría fina, se comportan como fluidos al mantenerlos en movimiento turbulento en una corriente gaseosa, o líquida en algunos casos.

Flujo (flow): Movimiento de un fluido bajo presión. La gradual pero continua distorsión de un material bajo carga continua, usualmente a alta temperatura; también llamado termofluencia.

Intercara (interface): Área de contacto entre el refuerzo y la matriz en un material compuesto.

Interfase (interphase): Capa de productos formada por la interacción interfacial entre la matriz y el refuerzo de un material compuesto, durante su fabricación o vida en servicio.

Isotropía (isotropy): Independencia de las propiedades mecánicas de la dirección en la que se miden.

Lecho Fluidizado (fluidized bed): Lecho de partículas suspendidas (un polvo u otro material particulado sólido) en un flujo ascendente de aire u otro gas, que se comporta como un fluido.

Máquina (Machine). Las máquinas son instrumentos o dispositivos que pueden cambiar la intensidad y la dirección en que se ejerce una fuerza. Las máquinas transforman las fuerzas que se les aplican, disminuyendo el esfuerzo que se necesita para realizar un trabajo.

Material compuesto (composite): Combinación de dos o más materiales diferentes en forma o composición a escala macroscópica. Los constituyentes retienen sus identidades, es decir, no se disuelven ni se funden completamente en

uno de ellos, aunque actúan en conjunto. Normalmente, los componentes pueden ser físicamente identificados y exhiben una intercara de separación entre ellos.

Material compuesto de matriz metálica (metal matrix composite, MMC): es un tipo de material compuesto en el que el componente continuo es metálico, mientras que el otro, generalmente el refuerzo (fibras, partículas whiskers, etc), suele ser de naturaleza cerámica o inter-metálica.

Matriz (matrix): Material de naturaleza polimérica, metálica o cerámica en la que están embebidas los refuerzos en un material compuesto.

Modelo sólido (Solid model): Modelo de CAD 3D definido utilizando técnicas de modelado de sólidos. El modelado de sólidos es comparable con utilizar un material físico para crear una forma. La mayoría de los productos de software de modelado de sólidos utilizan primitivos, como cilindros y esferas, y características como agujeros y ranuras, para construir formas. Los modelos sólidos se prefieren sobre modelos de superficie para la fabricación aditiva porque definen un modelo cerrado y "hermético," lo que es un requisito para la mayoría de los formatos de fichero que se utilizan en la fabricación aditiva.

Pandeo (buckling): es un modo de respuesta estructural caracterizado por una deflexión fuera del plano del material debido a la acción de esfuerzos de compresión sobre el componente. Aplicado a los materiales compuestos, el pandeo no sólo puede originar inestabilidad general y local, sino que además puede producir microinestabilidad de las fibras individuales en los materiales compuestos fibrorreforzados.

Porosidad (porosity): Consecuencia de la acumulación de bolsas de aire, gas o vacío dentro del material sólido. Normalmente se expresa como un porcentaje del volumen no sólido total respecto del volumen total.

Preforma (preform): Elemento que recibe y va dando forma al material atomizado.

Pulvimetalurgia (powder metallurgy): vía de fabricación de materiales MMCs que consiste en la mezcla de polvos metálicos con el refuerzo cerámico, seguida de compactación, extracción de aire y posterior consolidación mediante sinterización.

Refuerzo (reinforcement): Material encargado de suministrar un buen comportamiento mecánico a los materiales compuestos.

Regla de las mezclas (rule of mixtures, ROM): Cuando las propiedades de un material compuesto puede obtenerse mediante la combinación de las propiedades de sus dos materiales constituyentes. Según la ROM, la propiedad de un material compuesto es igual a la propiedad de la fibra por su fracción volumétrica más la propiedad de la matriz por su fracción.

Relación de forma (aspect ratio): El cociente entre la longitud de una fibra y su diámetro.

Spray. Sistema con un dispositivo especial para pulverizar líquidos. Líquido Pulverizado.

Tornillo (screw). Pieza cilíndrica o cónica, por lo general metálica, con resalte en hélice y cabeza apropiada para enroscarla. Instrumento con que se mantienen sujetas las piezas que se están trabajando, por medio de dos topes, uno fijo y otro móvil.

Tornillo de Unión (Union bolt): Se utiliza para la unión de dos piezas y se hace a través de un agujero pasante (sin rosca) de una de ellas y roscando en la otra, como la tuerca.

Tornillo de Potencia (Power screw): Los tornillos de Potencia son un dispositivo para cambiar movimiento lineal y usualmente para transmitir potencia. En forma más específica los tornillos de potencia se usan para obtener una ventaja mecánica y para obtener un posicionamiento preciso de un movimiento axial.

10. METODOLOGÍA

10.1. ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN

La presente es una investigación con un enfoque de carácter cuantitativo en tanto usa una recolección de datos para probar hipótesis de funcionamiento del equipo de Osprey, con base en la medición numérica de los patrones de comportamiento del equipo y con base en los cambios realizados al mismo durante su puesta a punto.

10.2. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

La presente es una “investigación con un diseño experimental (en tanto se realiza procedimientos que manipular deliberadamente 2 o más componentes o variables, haciendo variar en forma intencional dentro de una situación de control para el investigador) con un carácter de experimento puro en tanto se controla la validez interna de la situación experimental (es decir saber que está ocurriendo realmente con la relación entre las variable dependientes e independientes)

10.3. TIPO DE LA INVESTIGACIÓN.

La presente investigación es de tipo descriptivo y observacional por que busca especificar propiedades, características y rasgos importantes de cualquier fenómeno que se analice. Para el presente caso se pretende medir o corregir una información de manera independiente o conjunta sobre los conceptos o las variables en los que se procura desarrollar.

10.4. ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN

Siguiendo lo anterior la presente investigación tiene un alcance descriptivo en tanto se tiene el propósito de tener medición o descripción profunda de los fenómenos que se estudian. Sumado a ello también tiene un alcance explicativo en tanto está dirigida a responder a las causas de los eventos y los sucesos de los fenómenos que se estudian, se procurara una mayor estructuración y entendimiento del fenómeno, de las sustancias y los procesos que permitirán llegar a operación adecuada y satisfactoria del equipo de Osprey de la Universidad del Valle.

10.5. INSTRUMENTOS

Para las pruebas físicas que se realizarán se utilizará la observación, la descripción y la medición de las partículas o los billet obtenidos durante el proceso.

10.6. PROCEDIMIENTO

Durante el tiempo de duración del proyecto, se fortaleció el conocimiento teórico y práctico en el campo de los materiales compuestos de matriz metálica y de las técnicas de caracterización que se aplican a éstos, recurriendo a diferentes fuentes como: investigación bibliográfica, Internet e intercambio de información con personas o entidades que laboran en este campo o en campos similares.

- Recopilado de información sobre el proceso Osprey.
- Determinado de las condiciones de funcionamiento del equipo de Osprey.
- Determinado de que le falta al equipo de Osprey para que sea operable.
- Modelado y construcción de los componentes faltantes para que sea operable.
- Se establecieron las condiciones paramétricas de funcionamiento del equipo Osprey.
- Se desarrollaron actividades experimentales que permitieron el ajuste y la puesta a punto del sistema Osprey.
- Se llevo a cabo el análisis y comparación de los resultados experimentales
- Conclusiones y resultado
- Documento

11. ANÁLISIS DEL ESTADO DEL EQUIPO

11.1. RECONOCIMIENTO INICIAL DE LA MÁQUINA

Cuando se efectuó el reconocimiento inicial de la máquina se encontró en estado de deterioro, muchos elementos oxidados, faltos de lubricación, con defectos de pintura; además los alrededores de la máquina presentaban un estado grande de abandono, el pasto alto, mucha suciedad, lo que nos ocasionó otro problema dado que para hacer una adecuada caracterización de la máquina se tuvo que hacer el acondicionamiento del sitio de trabajo, así como de sus alrededores; algunas de estas tareas fueron:

- Podar el prado manualmente, tanto de la zona de trabajo como de los alrededores, por lo que estaba tan alto que no permitía ver adecuadamente la máquina.
- Limpieza de la zona de trabajo de la máquina dado que esta estaba muy sucia.

Además de una pequeña fumigación por el alto nivel de los zancudos y demás insectos.

Después de cumplir con este cometido se realizó una exhaustiva limpieza, pulido y lijado de los componentes del equipo, dado que al encontrarse a la intemperie presentaba un alto nivel de oxidación en varios de sus componentes, además de existir mucha acumulación de polvo y suciedad.

Cuando se estaba realizando el proceso de limpieza, se observó además que existía un elevado nivel de inseguridad, por lo cual los motores estaban sujetos por cadenas y candados, pero esto no brindaba la garantía suficiente, por lo que el profesor Héctor Sánchez Stepha, Director de la Escuela de Materiales de la Universidad del Valle, decidió colaborar con el cerramiento del equipo de Osprey. Para este proceso se contrató al señor Nelson Morales P., quien desarrolló el sistema de cerramiento, al cual se le hicieron varias recomendaciones, entre las que se pueden citar:

- Colocar la puerta en otro lugar (Figura 19).
- Realizar una compuerta en el lado de la compuerta principal del equipo, que permitiera realizar trabajos y esta se pudiera abrir sin problemas.

Mientras se ejecutaban estos trabajos se suspendió el trabajo de reconocimiento de la máquina por una semana.

Pasada una semana que se retomó el trabajo se encontró que no se había realizado ni el cambio de ubicación de la puerta ni la compuerta en la malla, por lo

que se procedió a comunicarse con el señor Morales por intermedio del Profesor Sánchez y del Profesor Portocarrero (Director de la Pasantía) pero el señor no apareció.

Figura 19. Ubicación de la puerta principal del cerramiento del equipo de Osprey.



Fuente: Los Autores.

Por lo que se procedió a realizar el corte de parte de la malla exterior (Figura 20), para permitir la apertura de la compuerta principal del equipo.

Figura 20. Malla impidiendo la apertura de la compuerta principal del equipo de Osprey.



Fuente: Los Autores.

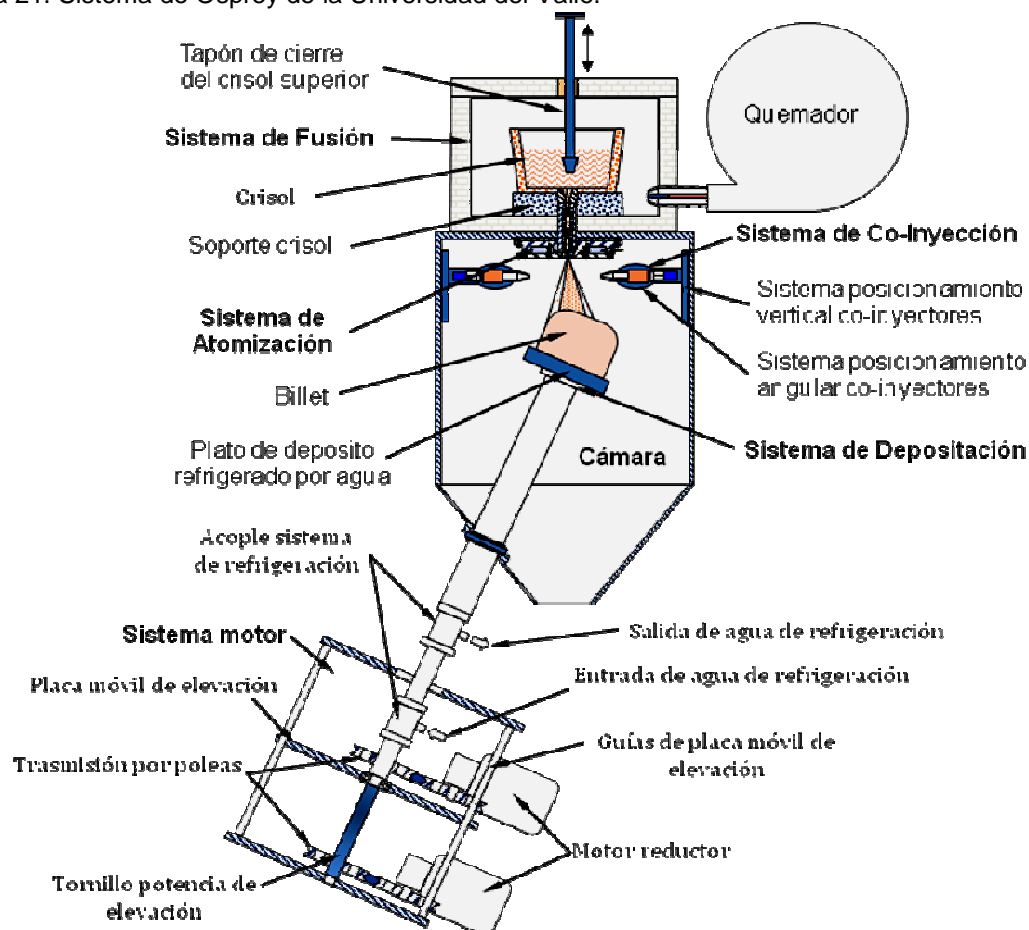
11.2. ANÁLISIS DEL ESTADO DE LA MÁQUINA

Se procedió ahora a establecer los componentes y el sistema de funcionamiento del equipo, los diferentes sistemas que componen el sistema de Osprey de la Universidad del Valle aparecen en la Figura 21.

Una vez identificados los elementos se procedió a realizar unas listas de chequeo para establecer el estado de los elementos y los elementos faltantes (ver las Tabla 2, Tabla 3, Tabla 4, Tabla 5, Tabla 6 y Tabla 7). Para tener un pleno conocimiento se realizaron unas pruebas de funcionamiento en vacío (sin metal fundido), se constató que el equipo, presentaba un movimiento errático en el sistema del

movimiento del plato colector de polvos, se cruza y trava dado que posee un solo sistema de tornillo motriz y además solo posee tres columnas guía. Este sistema además presentó muchas fugas de agua, lo cual es muy peligroso dado que se maneja en este equipo aluminio a temperaturas del orden de 850°C o superiores, además que contamina el billet producto de la atomización.

Figura 21. Sistema de Osprey de la Universidad del Valle.



Fuente: Los Autores.

Tabla 2. Análisis del sistema de fusión del equipo de Osprey.

SISTEMA DE FUSIÓN		
ELEMENTO	ESTADO	OBSERVACIONES
Quemador	En buen estado	
Crisol	En buen estado	
Cuerpo del horno	En buen estado	
Soporte del crisol	En buen estado	
Tapón del crisol	No se encuentra	
Tapa del horno	En buen estado	
Salida del crisol	Regular estado	Requiere ajuste y reparación

Fuente: Los Autores.

Tabla 3. Análisis del sistema de atomización del equipo de Osprey.

SISTEMA DE ATOMIZACION		
ELEMENTO	ESTADO	OBSERVACIONES
Tapa	En buen estado	
Contra Tapa	En buen estado	
Empaques	En buen estado	
Tornillos Tapa	En buen estado	
Tornillos de fijación	En buen estado	
Racores	En buen estado	
Mangueras	En buen estado	
Boquilla de salida metal	Regular estado	Requiere reconstrucción

Fuente: Los Autores.

Tabla 4. Análisis del sistema de co-inyección del equipo de Osprey.

SISTEMA DE CO-INYECCION		
ELEMENTO	ESTADO	OBSERVACIONES
Sistema de posicionamiento vertical de los co-inyectores	No existe	Falta diseñarlos
Sistema de posicionamiento angular de los co-inyectores	No existe	Falta diseñarlo
Bomba de vacío BDF-200	En buen estado	
Tarro contenedor de polvos	No Funcional	Se recomienda rediseñar el sistema y cambiarlo por un sistema de lecho fluidizado
Porta boquilla de bronce	En buen estado	
Boquilla inoxidable	En buen estado	
Mangueras	En buen estado	
Racores	En buen estado	

Fuente: Los Autores.

Tabla 5. Análisis del sistema de deposición del equipo de Osprey.

SISTEMA DE DEPOSITACION		
ELEMENTO	ESTADO	OBSERVACIONES
Plato base colector de polvos	En buen estado	
Plato soporte colector de polvos sistema de refrigeración	Pegado, presenta fugas de agua,	Rediseñarlo y construirlo
Eje de movimiento	Maquinado irregular, presenta pandeo	Maquinarlo y rectificar el pandeo
Bujes	Mal estado	cambiarlos
Tornillos de fijación	En buen estado	
Entrada de agua para la refrigeración	Regular estado	Cambiar los bujes

Fuente: Los Autores.

Tabla 6. Análisis del sistema motor del equipo de Osprey.

SISTEMA MOTOR		
ELEMENTO	ESTADO	OBSERVACIONES
Motores reductores	En buen estado	
Poleas	En buen estado	
Placa móvil	Estado regular	Rediseñarla
Guías de placas móviles de elevación	Tiene problemas de movimiento	Construir otro
Tornillos de potencia	En buen estado sin embargo presenta problemas de movimiento	Construir otro
Correas de transmisión	En buen estado	
Placas fijas superior e inferior	Estado regular	Rediseñarlas

Fuente: Los Autores.

Tabla 7. Análisis del sistema motor del equipo de Osprey.

CÁMARA		
ELEMENTO	ESTADO	OBSERVACIONES
Cuerpo o cilindro principal	En regular estado	Presentaba problemas con la silicona y plástico que se le aplico, debería tener tapones
Tolva o cono colector	En regular estado	Debe tener una compuerta para descargar los polvos y otras cosas
Empaques	En buen estado	
Pernos	En regular estado	Algunos se encontraban oxidados

Fuente: Los Autores.

A continuación se muestra en las Figura 22 a 26 se observa el estado en que se encontraban algunos de los elementos.

Figura 22. Sistema motor de elevación y rotación.



Fuente: Los Autores.

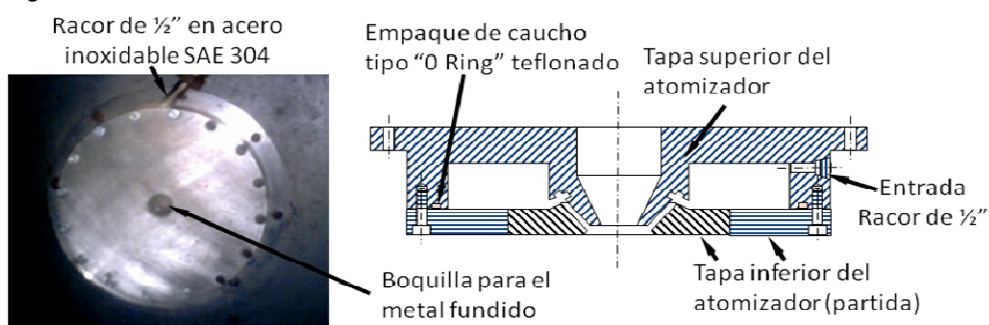
Durante este proceso se realizó el reconocimiento de los diferentes componentes de la máquina y se visualizó a groso modo el funcionamiento de ésta, y se determinaron cuales eran las diferentes reparaciones que se tendrían que hacer. Se encontraron algunos problemas particulares, como el hecho que las poleas no se podían cambiar porque el sistema motor de elevación y rotación se encontraba soldado. Por lo que se tuvo que remover todos los puntos de soldadura que estaban ubicados en los apoyos de las platinas como se ve en la Figura 22.

Figura 23. Cámara del Osprey.



Fuente: Los Autores.

Figura 24. Sistema de atomización.



Fuente: Los Autores.

Figura 25. Cono de la cámara.



Fuente: Los Autores.
Figura 26. Horno de sostenimiento.



Fuente: Los Autores.

El eje hueco de movimiento sobre el cual circula el agua de refrigeración del plato colector (Figura 22 y Figura 23), presentaba muchas fugas de agua, principalmente por los sellos, se observó que el mecanizado de la superficie de deslizamiento de estos era muy deficiente (presentaba mucha rugosidad). Además el sistema platos soporte y de refrigeración del colector de polvos, se encontraba con fugas de agua y estaba pegado.

11.3. DESENSAMBLE DE LOS ELEMENTOS DE LA MÁQUINA

Después de quitar toda la soldadura que poseía los elementos del sistema motor, lo cual no permitía realizarle un fácil mantenimiento a este último, se procedió a realizar el desensamble de las piezas como se observa en la Figura 27; para luego efectuar el trabajo de limpieza y pulido a lija, procediendo posteriormente a pintarlas, para evitar así los efectos medioambientales como la corrosión. Al mismo tiempo que se realizaba este trabajo, se analizó de forma detallada diferentes elementos para determinar en forma clara los diferentes problemas que estas presentaban, como fugas, pandeos, errores de diseño, etc.

Figura 27. Piezas del sistema Osprey que se desmontaron.



Fuente: Los Autores

11.4. ANÁLISIS DE PIEZAS DEL SISTEMA OSPREY QUE SE DESMONTARON

Dentro del análisis de piezas del sistema Osprey que se desmontaron (Figura 27), se encontró con diferentes problemas los cuales obligaron en algunos casos a reparar algunas piezas y en otros casos rediseñarlas y construirlas debido a algunas fallas que esta presentaban:

- Tornillo de potencia
- Poleas
- Guías de placa móvil
- Placa móvil
- Placas fijas superior e inferior
- Eje de movimiento
- Plato soporte colector de polvos sistema de refrigeración

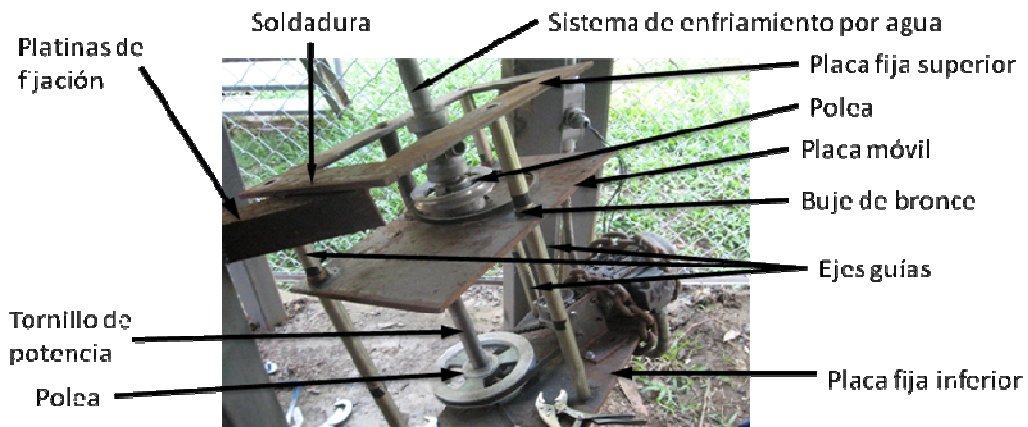
10.4.1. Tornillo de Potencia. El problema que se le encontró al tornillo de potencia Figura 28, es que éste presentaba restricciones para realizar el movimiento de forma uniforme, dado que la placa móvil (Figura 29) se cruza o traba con los ejes guía, por efecto del peso que soporta el cual genera un torque (Figura 30), dado que solo tiene un punto de movimiento (tornillo de potencia) en un costado y posee la carga del sistema colector con todo su sistema de refrigeración y el motorreductor que le transmite movimiento (no aparece en la Figura 29 dado que ya se había desmontado), como se aprecia en la Figura 31.

Figura 28. Tornillo de potencia.



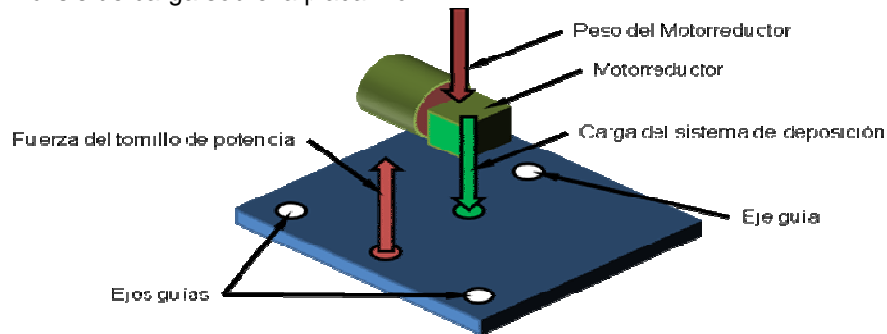
Fuente: Los Autores

Figura 29. Fotografía del diseño inicial del sistema motriz.



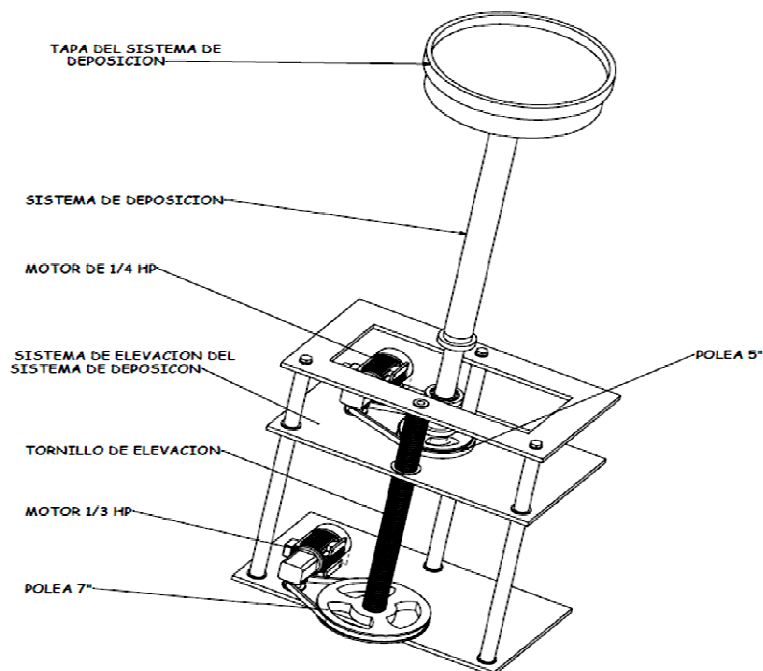
Fuente: Los Autores.

Figura 30. Análisis de carga sobre la placa móvil.



Fuente: Los Autores.

Figura 31. Diseño inicial del sistema motriz.



Tomado de: GONZALEZ S., J.: ATEHORTUA L., D. F. Diseño y Construcción de un Sistema Osprey para la Producción de Materiales Compuestos de Matriz de Aluminio. UNIVALLE. 2008.

Se procede luego de identificado el problema, a buscar soluciones complementarias que ayudaran a resolver esta situación

10.4.2. Poleas del Tornillo de Potencia. Como se puede observar en las Figura 29 y Figura 32 solo se contaba con una polea de trasmisión de movimiento del motor al tornillo de potencia, el cual a su vez produce el desplazamiento de la placa móvil, la cual subía llegando al punto donde esta se bloqueaba.

10.4.3. Motorreductores. Se cuenta con dos como se observa en las Figura 33, uno de 1650 rpm y un caballaje de 1/6 hp (no como aparecen en la Figura 31) que es el encargado de transmitirle potencia al tornillo de potencia y el otro de 1530

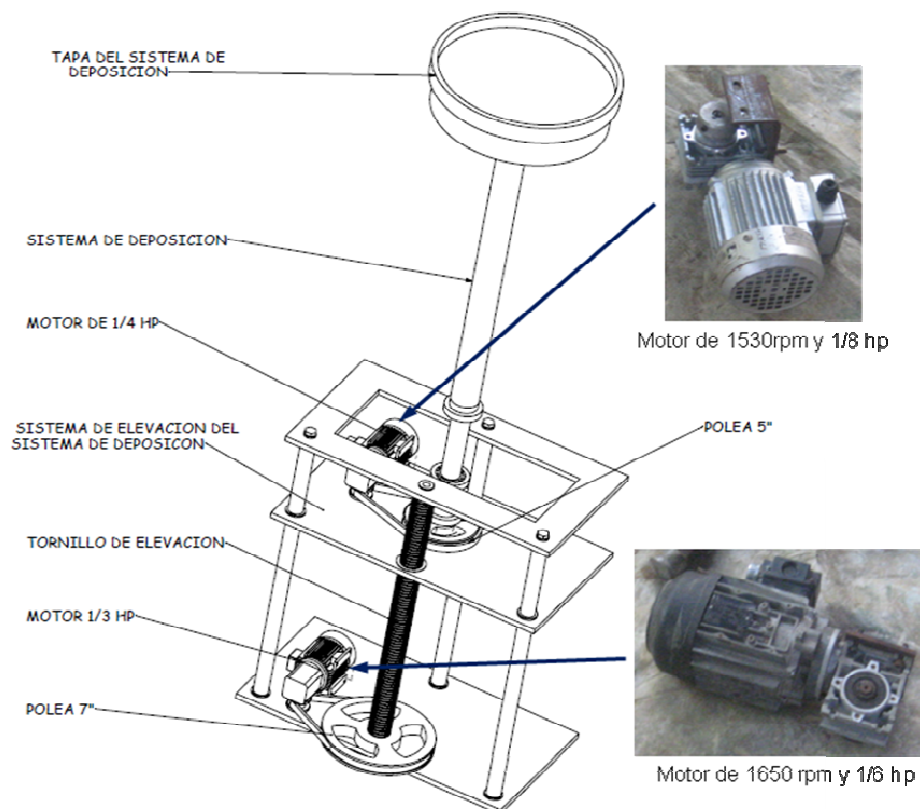
rpm y un caballaje de 1/8 hp que es el encargado de mover el eje de movimiento que gira el plato colector. Los dos motorreductores se encontraron en buen estado. Sin embargo los sistemas de fijación les faltaba ajuste y uno de los dos le faltaba un tornillo.

Figura 32. Polea.



Fuente: Los Autores

Figura 33. Motorreductores.



Fuente: Los Autores

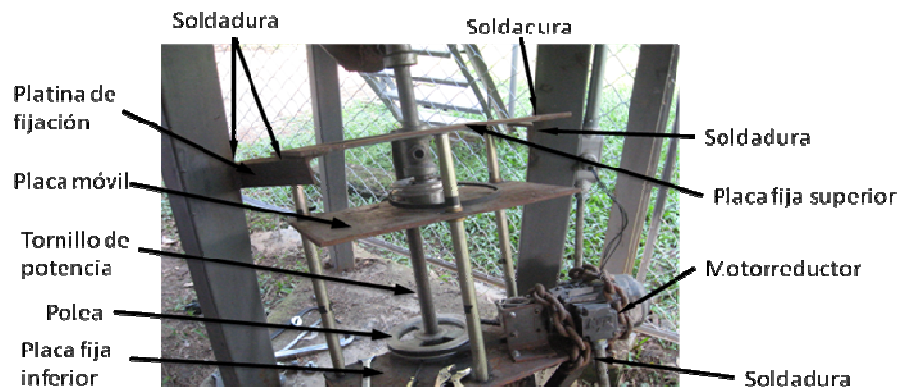
10.4.4. Ejes Guías de Placa Móvil. Lo que se observa en las Figura 29 y Figura 32 es que por la disposición de estas guías dentro del diseño inicial y el poseer solo un tornillo de potencia, no se facilitaba el movimiento uniforme de la placa móvil, afectando el movimiento del sistema, dado que éste se bloqueaba cuando

la placa móvil empezaba su recorrido transmitido por el tornillo de potencia, el cual subía esta placa de un lado y se bloqueaba en del otro lado.

10.4.5. Placa Móvil. En la placa móvil, encargada de ubicar en diferentes posiciones el sistema de eje de movimiento que sostiene el plato colector de polvos, se encontró el problema que ésta no presenta un desplazamiento igual, dado que el sistema de guías y el tornillo de potencia no facilita el movimiento continuo de ésta; dado que la placa móvil (Figura 29) se cruza o traba con los ejes guía, lo que ocasiona que se bloquee todo el sistema, por el efecto de torque ocasionado por las cargas (Figura 30), como se vio anteriormente.

10.4.6. Placas Fijas Superior e Inferior. En estas dos placas no se observó mayores inconvenientes que afectaran el movimiento del sistema, el problema con estas dos placas son los puntos de soldadura, que se le aplicaron en las platinas de fijación que se observa en la Figura 34, lo que hacían muy difícil la remoción de todo el sistema para realizar un mantenimiento y el desensamble del equipo, por tal motivo se tuvo que volar los puntos de soldadura.

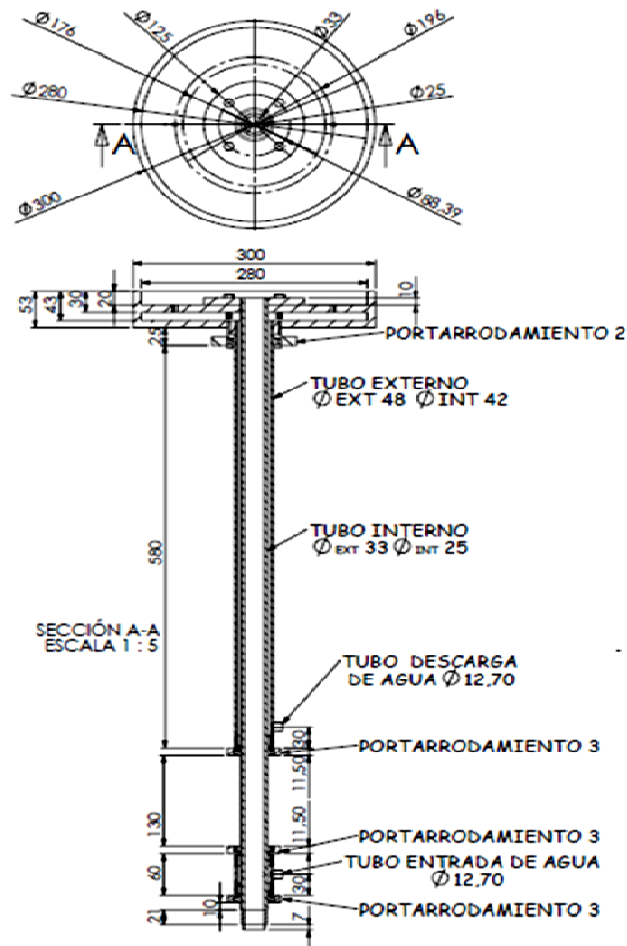
Figura 34. Placas fijas y sistema motor.



Fuente: Los Autores

10.4.7. Eje de Movimiento. Este eje consta de dos partes desarmables (ver Figura 35, Figura 36, Figura 37 y Figura 38), las cuales están unidas al plato soporte colector de polvos del sistema de refrigeración del plato colector, este eje es el encargado tanto como de transmitir movimiento a los platos, como de refrigerar el plato colector dado que consta de un sistema de circulación de agua. Esta pieza posee los siguientes problemas: el primero grandes fugas de agua que se presentaban en los sistemas de sello, esto principalmente ocasionado por el irregular maquinado que presentaba unos niveles de rugosidad muy altos (Figura 39), este conjunto también poseía un pandeo en el tubo central el cual incrementaba el efecto de fuga, además de inferir sobre el correcto funcionamiento del sistema.

Figura 35. Eje de movimiento.



Tomado de: GONZALEZ S., J.: ATEHORTUA L., D. F. Diseño y Construcción de un Sistema Osprey para la Producción de Materiales Compuestos de Matriz de Aluminio. UNIVALLE. 2008.

Figura 36. Tubo externo del eje de movimiento y sistema de refrigeración.



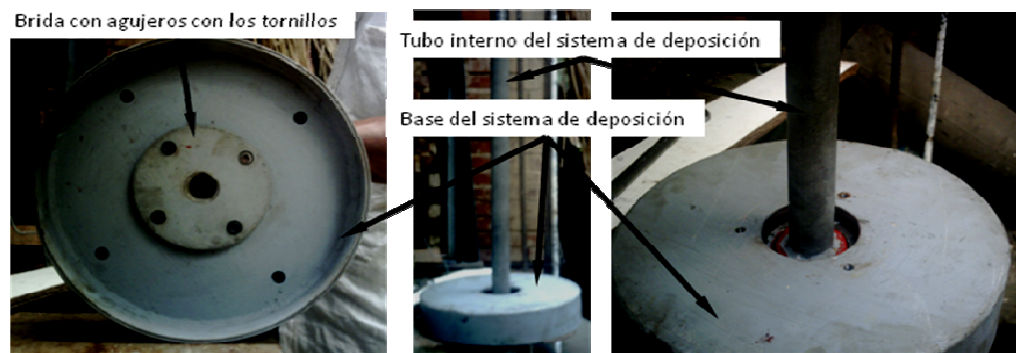
Fuente: Los Autores

Figura 37. Tubo interno del eje de movimiento y sistema de refrigeración.



Fuente: Los Autores

Figura 38. Tubo interno del eje de movimiento y sistema de refrigeración, acoplado.



Fuente: Los Autores

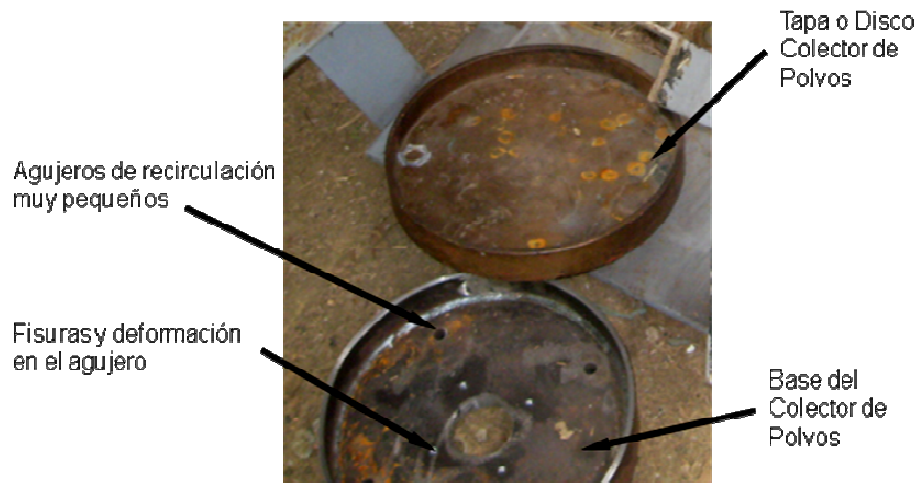
Figura 39. Tubo externo del eje de movimiento mecanizado deficiente.



Fuente: Los Autores

10.4.8. Disco Soporte o Base del Colector de Polvos del Sistema de deposición. Esta pieza es una de las más importantes para el proceso, dado que en ésta se sostiene el plato colector de polvos y es la encargada de refrigerarlo por medio del eje de movimiento que va conectado a él, este plato aparte de que es de cobre fundido (propiedades mecánicas relativamente bajas), presentaba unas grandes fisuras en casi toda su estructura acrecentando más el problema de fugas de agua, presentaba otra situación particular, la posición de los orificios de recirculación de agua que se encontraban ubicados muy cerca al centro por lo que la recirculación no era la más efectiva, además de ser muy pequeños. Lastimosamente no se tiene archivo fotográfico completo de esta pieza antes del trabajo pero se puede apreciar en la Figura 38, después de haber sido reconstruida en acero y en la Figura 40 aparece antes haber sido reconstruida.

Figura 40. Tapa y base del Colector de Polvos.



Fuente: Los Autores

10.4.9. Tapa o Disco Colector de Polvos del Sistema de deposición. Esta pieza (ver Figura 35 y Figura 40) es también una de las más importantes para el proceso, dado que en esta se colectan los polvos y es la encargada de formar el billet, este disco es de cobre para que el material del billet no se le pegue. Esta pieza presenta algunos problemas como: maquinado en la superficie de unión con el disco soporte y unas pequeñas fugas que fueron reparadas por soldadura.

10.4.10. Tolva o Cono de la cámara. Esta pieza (ver Figura 41) este elemento es encargado de recoger todos los polvos que no se depositen en el disco colector de polvos. Esta pieza presenta principalmente un problema, es que la parte final del cono está tapado, lo que acarrea que se almacenen los polvos y diferentes residuos del proceso y sea muy difícil de evacuarlos. En la realización de las pruebas de verificación en este lugar se acumulo una buena cantidad de agua por lo cual hubo la necesidad de realizar un pequeño agujero para evacuar el agua que allí se quedaba almacenada.

Figura 41. Tolva o cono de la cámara.



Fuente: Los Autores

10.4.11. Tubo entrada de agua. El problema que presentaba esta pieza radicaba en las fugas de agua, las cuales se daban por sus retenes que estaban gastados además de que por el mismo maquinado irregular del eje no permitía un buen sellado hermético.

Figura 42. Tubo entrada de agua



Fuente: Los Autores

12. DESARROLLO Y ANÁLISIS DE LOS PREDISEÑOS

12.1. REQUERIMIENTOS

Obtención de los datos primarios. Se obtuvieron las siguientes necesidades basadas en entrevistas personales y grupos de enfoque.

Requerimientos básicos de la máquina:

- Que sea de fácil utilización.
- Que tenga su respectiva documentación y manuales de usuario.
- Que sea de fácil conexión y ensamble para evitar accidentes.
- Que presente bajo consumo de energía.
- Que sea duradero y robusto.
- Que presente un alto ciclo de trabajo.

12.2. IDENTIFICACIÓN DE LAS NECESIDADES

Se establecen las prioridades de acuerdo con las ideas que ha planteado el cliente (Escuela de Materiales Univalle), teniendo en cuenta que la escala de valoración es entre 1 a 8 donde 8 es la máxima importancia y 1 la Mínima. El * denota que es de obligatorio cumplimiento.

En la Tabla 8 aparece la lista de prioridades tomadas con base en las necesidades del usuario.

Tabla 8. Necesidades del cliente.

#	Sistema	Necesidad	Imp
1	Máquina	Equipo seguro	8
2	Máquina	Robusto	7
4	Máquina	Poco mantenimiento	8
5	Máquina	Piezas comerciales	8
6	Máquina	Reparación	7
7	Máquina	Es de tamaño adecuado	8
8	Máquina	De peso adecuado	7
9	Máquina	Es de fácil ensamble	8
10	El soporte estructural	Es confiable	7
11	El soporte estructural	Resistente	8
12	Máquina	Consume poca energía.	8
13	Máquina	Podrá trabajar por largas horas	8
14	Máquina	Económico combustible	8

Fuente: Los Autores

12.3. REQUERIMIENTOS ESPECÍFICOS DE INGENIERÍA

El resumen de los requerimientos anteriores se presenta en unas especificaciones de ingeniería contenidas en la Tabla 9:

Tabla 9. Requerimientos específicos de ingeniería.

#	Métrica	Unidades
1	Tiempo de vida útil	10 Años.
2	Factor de seguridad	>2
3	Consumo de potencia	W /H
4	Seguridad	99%
5	Tiempo de ensamble	48h
6	Actualizable y expandible control	Si
7	Materiales	Acero al carbono
8	Peso del equipo	*
9	Temperatura máxima de la mayor parte del conjunto	100°C
10	Temperatura mínima	25°C
11	Interacción con el usuario	Necesaria
12	controlabilidad	Si
13	Espacio de trabajo	3 m ²
14	Mantenimiento	1 vez por año
15	Ensamble	Tolerancia de $\pm 1\text{mm}$
16	Diseño Agradable	Si
17	Fabricante de repuestos y piezas	Lista

Fuente: Los Autores

12.4. DESCOMPOSICION FUNCIONAL DEL PROBLEMA

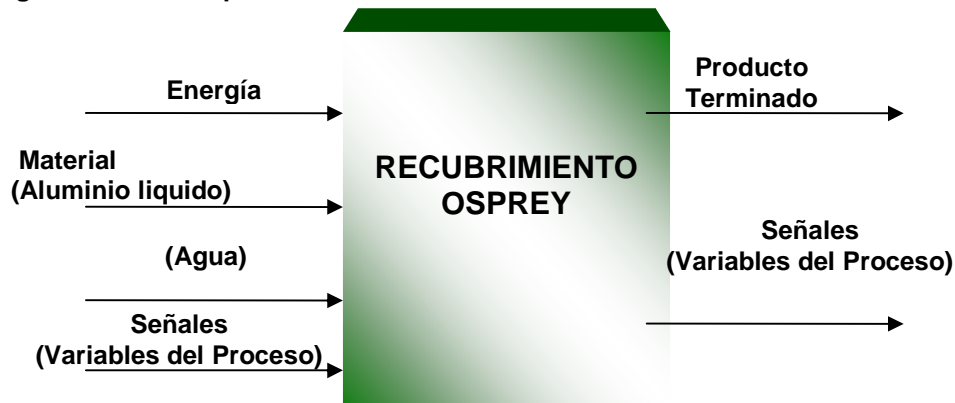
Se representa el problema como una caja negra sobre un material energía y flujo de señales.

11.4.1. Descripción de la función general del producto. Este diseño de una máquina Osprey pretende proporcionar un sistema para la atomización y coinyección de aluminio, con el cual se pretende realizar investigaciones en materiales compuestos de matriz metálica de aluminio reforzados por partículas.

Este diseño debido a su funcionalidad requiere de un control de Temperatura y peso para el proceso. En la Figura 43 se observa la representación de la caja negra del sistema

Para llegar a la selección de este concepto se tuvo en cuenta las necesidades planteadas por los usuarios, maquinaria de este tipo, los costos, facilidad de producción y otros; También es importante tamizar los conceptos generados, para lo cual se necesita tener unos criterios de selección los cuales son: Facilidad en el montaje y mantenimiento, Robustez, transportabilidad, fácil manejo, disponibilidad de elementos en el mercado y que los equipos utilizados sean para ambiente industrial.

Figura 43. Descomposición funcional



Fuente: Los Autores

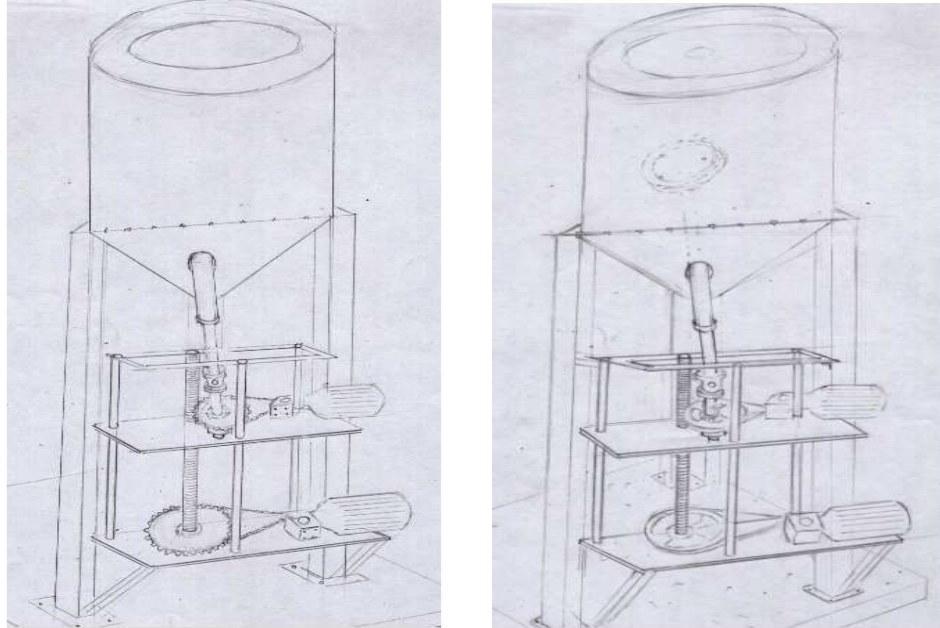
11.4.2. Posibles Soluciones Conceptos. A continuación se exponen las posibles soluciones al problema del sistema motor.

- A.** Primera alternativa (Figura 44. (A) Primera alternativa (B) Segunda alternativa (A)) consta de elementos como: tolva, engranes, cadenas , 3 ejes, y un tornillo sin fin, 2 motores
- B.** Segunda alternativa (Figura 44(B)) consta de elementos como: tolva, 2 poleas, 2 correas, 3 ejes, tornillo sin fin, 2 motores.
- C.** Tercera alternativa consta de elementos como: tolva, 4 poleas, 3 correas, 4 ejes, 2 tornillos sin fin, 2 motores, como se observa en la Figura 45.

Para establecer el prediseño más apropiado se desarrolló la tabla de selección de criterios (Tabla 10).

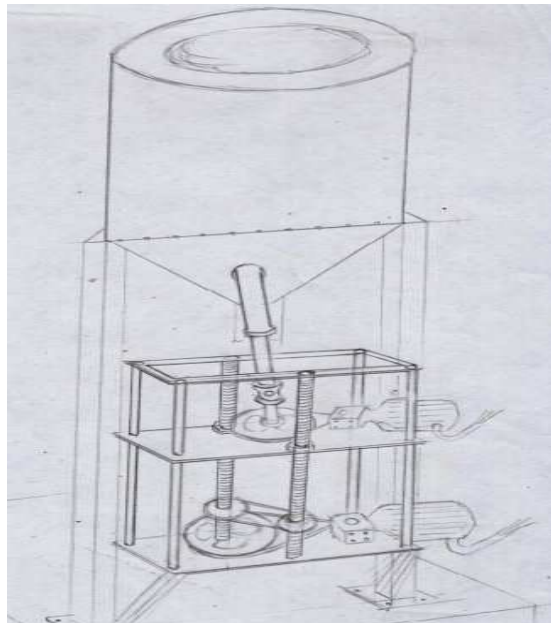
Al observar los datos obtenidos en la Tabla 10, existe un concepto que podría ser seleccionado en el desarrollo del dispositivo final, debido a que los conceptos aplicados en el desarrollo son más viables, por el costo, la facilidad de implementación, producción y el desarrollo son más favorables para un ambiente industrial.

Figura 44. (A) Primera alternativa (B) Segunda alternativa



Fuente: Los Autores

Figura 45. Tercera alternativa



Fuente: Los Autores

12.5. SELECCIÓN Y PRUEBA DE CONCEPTOS

Figura 46 se puede observar un dibujo del concepto que se ha seleccionado. Para llegar a la selección de este concepto se tuvo en cuenta las necesidades

planteadas por los usuarios, maquinaria de este tipo, los costos tanto de manufactura como de ensamble.

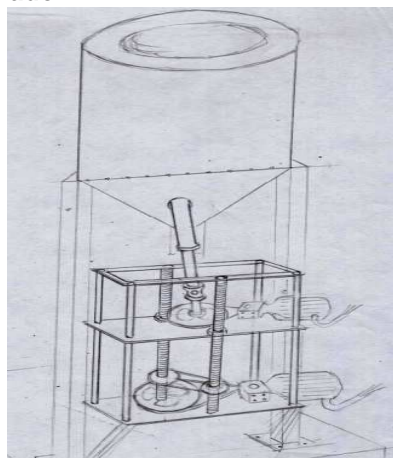
Tabla 10. Selección de criterios

	A	B	C	
Producción máxima	-	+	+	0
Facilidad de uso	-	+	+	0
Ahorro de energía	-	-	0	0
Cumplirá con las normas de seguridad	-	0	-	0
La maquina contara con estética aceptable	0	0	-	0
Durabilidad	+	-	-	0
Fácil adquisición de repuestos	0	-	0	0
Medición de la carga	0	+	+	0
Carga total	0	0	+	0
Positivos	1	3	4	
Iguales	3	3	2	
Negativos	5	3	3	
Totales	-4	0	1	
Orden	4	0	1	
¿Continuar?	NO	NO	SI	

Fuente: Los Autores

Es importante realizar una selección de los conceptos generados, para lo cual se necesita tener unos criterios básicos de selección, los cuales son: Disponibilidad de Tecnología, Facilidad de producción, mantenimiento, costos, transportabilidad, fácil manejo y disponibilidad de elementos en el mercado, combustible económico.

Figura 46. Concepto Seleccionado



Fuente: Los Autores

12.6. ANÁLISIS DE VIABILIDAD DEL CONCEPTO

Dado que los elementos mecánicos necesarios son de fácil adquisición en el comercio, adicionalmente la manufactura necesaria es simple y se puede realizar en la región y los elementos se encuentran alineados con lo cual el modelo cinemático se simplifica, la máquina presenta muy buena viabilidad desde el punto de vista de ingeniería y desarrollo tecnológico.

13. REDISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE ELEMENTOS

Dentro de los diferentes problemas que se trataron anteriormente, se concluyó que para optimizar el sistema Osprey tendríamos que rediseñar la gran mayoría de sus componentes, además de reparar las piezas que lo requieran con lo que se deseaba evitar el bloqueo que se presentaba en el sistema motor, que es al que más se le hizo énfasis dentro de la pasantía por cuestiones económicas, en la Figura 47 observamos como era el sistema inicialmente.

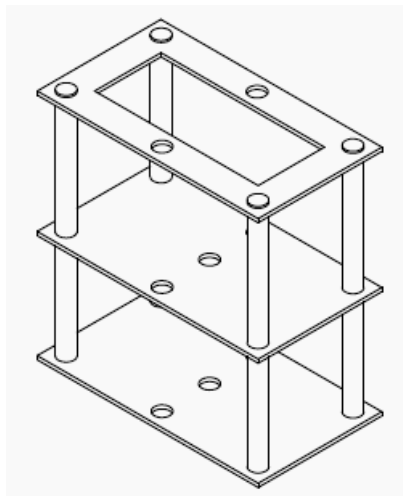
Figura 47. Diseño inicial.



Fuente: Los Autores

Ya conociendo la problemática que afecta al sistema se procedió a resolver a partir del rediseño que se aplicó las diferentes mejoras o nuevas aplicaciones al sistema motor. Utilizando el programa SOLID EDGE se realizó el modelado de todas las modificaciones necesarias para llegar al rediseño final que se observa en la Figura 48 y Figura 49.

Figura 48. Modelado Solid Edge.



Fuente: Los Autor

Figura 49. Rediseño final



Fuente: Los Autores

Después de conocer todas las modificaciones, a las cuales se tenían que someter a la gran mayoría de esta piezas, planteamos varias alternativas de rediseño observando los diferentes pros y contras que cada de uno de estos poseen teniendo cuenta el tiempo y dinero además de que algunas de estos rediseños la consecución de ciertas piezas eran de suma complejidad.

13.1. TORNILLO DE POTENCIA

Se realizó el cálculo de la resistencia del tornillo a compresión tomándolo como un material cilíndrico macizo con extremos empotrados, en la longitud mayor de carrera este cálculo se realizó en Microsoft Excel.

12.1.1. Carga sobre el Tornillo. Teniendo presente que el peso de todo el sistema que soportan los tornillos es de aproximadamente 70 Kg_f la carga máxima ($F_{m\acute{a}x}$) que se produce en cada tornillo será:

$$F_{m\acute{a}x} = 70 \times 9,81 / 2 = 343,35 \text{ N}$$

Por seguridad se le aplicará un factor de servicio de 1,5; quedando el nuevo valor de carga máxima o carga máxima de diseño ($F_{Dm\acute{a}x}$) como:

$$F_{Dm\acute{a}x} = 343,35 \text{ N} \cdot 1,5 \cong 515,025 \text{ N}$$

12.1.2. Consideraciones iniciales sobre el Tornillo. El nuevo tornillo se construyó en acero SAE 1040, el mismo material del cual está hecho el otro

tornillo. Teniendo presente que una resistencia última (S_{UT}) de 1193000 KPa y una resistencia de fluencia (S_y) de 1103000 KPa.

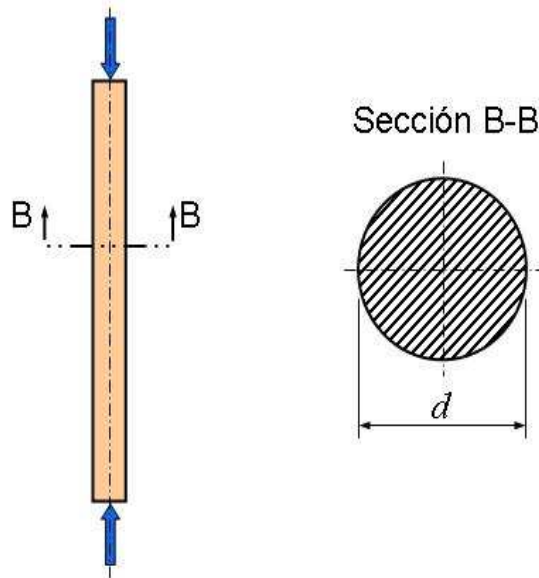
Para el desarrollo de este cálculo se tomó la condición que aparece en la Figura 50; para determinar la constante de condición de los extremos se tomó como base la Figura 51 y la Tabla 12. Se tomó como material un acero SAE 1045 ⁴².

Tabla 11. Datos de entrada para el cálculo del tornillo.

Carga estimada sobre la Columna $F_e =$	343,35	N
Factor de servicio $F_s =$	1,5	
Constante de condición de los extremos $C =$	1,2	
Longitud de la Columna $L =$	0,4	m
Módulo de elasticidad del material de la columna $E =$	200000000	KPa
Diámetro de la Columna $d =$	25,4	mm
Factor de Seguridad $FS =$	2	
Resistencia de fluencia material de la Columna S_y	1103000	KPa
Resistencia ultima material de la Columna S_{UT}	1193000	KPa
Diámetro del tornillo $D = D_e =$	25,4	mm
Paso p	3,175	mm
Número de entradas $n_e =$	1	
Angulo de la rosca $\alpha =$	30	grados
Coeficiente de fricción rosca tuerca $m =$	0,12	
Coeficiente de fricción collarín $m_s =$	0,0998	
Diámetro del collarín $d_c =$	25,4	mm

Fuente: Los Autores.

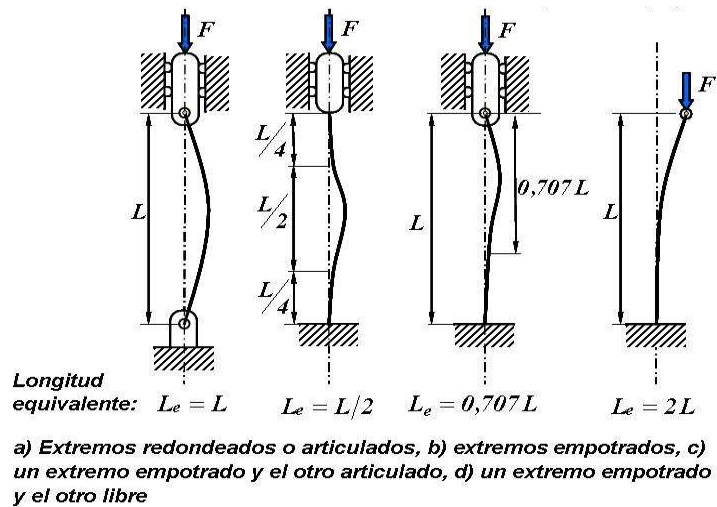
Figura 50. Diagrama base para el cálculo.



Fuente: Portocarrero H., J. Calculo de columnas curso de Diseño II. UAO. 1er Sem. 2009

Figura 51. Condición de los extremos en columnas – tipos de apoyos.

⁴² Budynas R., Nisbett J. K. Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley. Octava edición. 2008.



Fuente: Portocarrero H., J. Cálculo de columnas curso de Diseño II. UAO. 1er Sem. 2009

Tabla 12. Condición de los extremos en columnas.

Condiciones de extremos de columnas	Constante de condición de los extremos (C)		
	Valor teórico	Valor conservador	Valor recomendado
Extremos redondeados	1	1	1
Extremos empotrados	4	1	1,2
Empotrado - articulado	2	1	1,2
Empotrado - libre	1/4	1/4	1/4

Fuente: Portocarrero H., J. Cálculo de columnas curso de Diseño II. UAO. 1er Sem. 2009

Determinación de la carga sobre el tornillo:

$$F = F_e \cdot F_s$$

Carga sobre el tornillo $F =$	515,025	N
-------------------------------	---------	---

12.1.3. Torque sobre el Tornillo. A continuación aparece los cálculos del torque generado sobre el tornillo en operación.

Diámetro del Raíz Dr

$$Dr = D - p$$

Diámetro del Raíz $Dr =$	22,225	mm
--------------------------	--------	----

Avance de la rosca

$$l = n_e \cdot p$$

Avance de la rosca $l =$	3,175	mm
--------------------------	-------	----

Angulo de la rosca en radianes:

$$\alpha_{rad} = \frac{\pi \cdot \alpha}{180^\circ}$$

Angulo de la rosca en radianes $\alpha =$	0,52359878
$\cos \alpha =$	0,8660254

Cálculo del diámetro medio:

$$D_m = \frac{D_r + D_e}{2}$$

Diámetro medio $D_m =$	23,8125	mm
------------------------	---------	----

Torque real total sobre el tornillo rosca angulada en apriete:

$$T = \frac{F \cdot D_m}{2} \cdot \frac{\mu_s \cdot \pi \cdot D_m + l \cdot \cos \alpha}{\pi \cdot D_m \cdot \cos \alpha - \mu_s \cdot l} + \frac{\mu_{sc} \cdot F \cdot d_c}{2}$$

Torque =	1,76926749	N·m
----------	------------	-----

Torque real total sobre el tornillo rosca angulada aflojando:

Torque =	1,23875379	N·m
----------	------------	-----

12.1.4. Cálculo del nivel de auto retención del Tornillo. A continuación se establece si el tornillo presenta un adecuado nivel de auto retención.

Auto-retención en roscas angulada. Para que la rosca sea auto-asegurante (exista auto retención) el coeficiente de fricción estático mínimo entre la tuerca y el tornillo será de:

$$\mu \geq \mu_{est} = \tan \lambda \cdot \cos \alpha = \frac{l}{\pi \cdot D_m} \cdot \cos \alpha$$

Coeficiente de fricción estimado $\mu_{est} =$	0,03675526
--	------------

Evaluando el nivel de auto retención:

0,03675526	<	0,12	Presenta Auto-retención - Adecuado-
------------	---	------	--

12.1.5. Cálculo de la potencia inercial del Tornillo. A continuación se establece el nivel de potencia inercial que se le debe aplicar al tornillo.

Datos adicionales requeridos:

Número de revoluciones n =	1,2	r.p.m.
Masa del sistema m =	35	kg
Radio de Giro del sistema r_{GIR} =	0,12	m

Velocidad angular ω =

$$\omega = \frac{\pi \cdot n}{30}$$

Velocidad angular ω =	0,12566371	rad/s
------------------------------	------------	-------

Momento de Inercia I_m =

$$I_m = \frac{m \cdot r_{GIR}^2}{2}$$

Momento de Inercia I_m =	0,252	kg-m ²
----------------------------	-------	-------------------

Tomando un tiempo para que el motor alcance su velocidad nominal de 3s
Aceleración Angular media estimada α_m =

$$\alpha = \frac{\omega}{3s}$$

Aceleración Angular media estimada α_m =	0,0418879	rad ² /s
--	-----------	---------------------

Torque Inercial máximo $T_{m\acute{a}x}$ =

$$T_{m\acute{a}x} = I_m \cdot \alpha$$

Torque Inercial máximo $T_{m\acute{a}x}$ =	0,01055575	N-m
--	------------	-----

12.1.6. Cálculo de pandeo en el Tornillo. A continuación se toma el tornillo como una columna cilíndrica, tomando como diámetro el diámetro de raíz.
Calculo del segundo momento de área I :

$$I = \pi \cdot d_r^4 / 64$$

Segundo momento de área $I =$	1,19767E-08	m ⁴
-------------------------------	-------------	----------------

Cálculo del área de raíz A_r :

$$A_r = \frac{\pi \cdot d_r^2}{4}$$

Área de Raíz $A_r =$	0,000387948	m ²
----------------------	-------------	----------------

Cálculo del radio de giro K :

$$K = \sqrt{\frac{I}{A_r}}$$

Radio de Giro $K =$	0,00555625	m
---------------------	------------	---

Cálculo de la Esbeltez $Esb. =$

$$Esb = \frac{L}{K \sqrt{C}}$$

Esbeltez =	65,71849209	N
-------------------	-------------	---

65,71849209	>	30	No es un Puntal
65,71849209	<	120	No es Columna Larga
Es Columna Semilarga			

Columna Semilarga (Columna Intermedia)

$$F_{crit} = \left[\sigma_{per} - \left(\frac{\sigma_{per} \cdot L}{2\pi \cdot K} \right)^2 \frac{1}{C \cdot E} \right]$$

Fuerza critica $F_{crit} =$	212166,467	N
-----------------------------	------------	---

Comparación entre las fuerzas implicadas			
F :		F_{crit} :	Resultado Comparación
515,025	<	212166,467	Material Adecuado

12.1.7. Cálculo del Esfuerzo debido a la flexión. A continuación se realiza el cálculo del esfuerzo debido a la flexión basado en la Figura 52.

Figura 52. Diente del tornillo sometido a flexión por la carga aplicada.

Se supone la carga F uniformemente distribuida en la rosca a lo largo de todo el diámetro

Momento flector: $M = \frac{F \cdot h}{2}$

Esfuerzo flector: $\sigma_f = \frac{M \cdot c}{I}$

Donde:

$$c = \frac{b}{2} \quad \therefore I = \frac{(\pi \cdot D_m \cdot n) \cdot b^3}{12}$$

$$\sigma_f = \frac{12 F \cdot h \cdot (b/2)}{2(\pi \cdot D_m \cdot n) \cdot b^3}$$

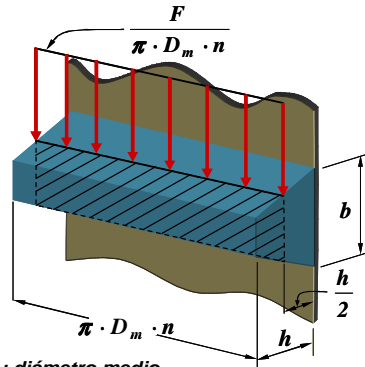
$$\sigma_f = \frac{3 F \cdot h}{\pi \cdot D_m \cdot n \cdot b^2}$$

Donde:

D_m : diámetro medio

h : Altura del diente

n : Número de hilos en contacto



Fuente: Portocarrero H., J. Cálculo de columnas curso de Diseño II. UAO. 1er Sem. 2009

Momento flector $M =$

$$M = \frac{F \cdot h}{2}$$

Momento flector $M =$	0,408801094	N·m
-----------------------	-------------	-----

Cálculo del ancho del diente b :

$$b = \frac{(p/2) + h \cdot \sin \alpha}{2}$$

$\cos \alpha =$	0,5	
Cálculo del ancho del diente $b =$	1,190625	mm

Esfuerzo Flector σ_f :

$$\sigma_f = \frac{3 F \cdot h}{\pi \cdot D_m \cdot n \cdot b^2}$$

Esfuerzo Flector $\sigma_f =$	2447,828089	KPa
-------------------------------	-------------	-----

Esfuerzo Flector σ_{fper} :

$$\sigma_{fper} = \frac{S_y}{FS}$$

Esfuerzo Flector $\sigma_{per} =$	245000	KPa
-----------------------------------	--------	-----

Comparación entre los esfuerzos aplicados

Comparación entre los esfuerzos aplicados			
$\sigma:$		$\sigma_{per}:$	
2447,828089	<	245000	Material Adecuado

12.1.8. Cálculo del Esfuerzo contacto. A continuación se realiza el cálculo del esfuerzo de contacto basado en la Figura 53.

Figura 53. Diente del tornillo sometido a esfuerzos de contacto.

Esfuerzo contacto.

$$\sigma_b = \frac{F}{A_{proy.}} \Rightarrow \sigma_b = \frac{F}{\pi \cdot D_m \cdot n \cdot h}$$

$$\sigma_{b_{per}} = 0,4 \cdot S_y$$

$$\sigma_b = \frac{F}{\pi \cdot D_m \cdot n \cdot h} \leq \sigma_{b_{per}}$$

Donde:

- D_m : diámetro medio
- h : Altura del diente
- n : Número de hilos en contacto
- $A_{proy.}$: Área proyectada
- H_t : Altura de la tuerca
- $\sigma_{b_{per}}$: Esfuerzo permisible a flexión
- F : Fuerza aplicada sobre el diente
- S_y : Esfuerzo de fluencia

$$D_m = \frac{D + D_r}{2}$$

$$h = \frac{D - D_r}{2}$$

$$n = \frac{H_t}{p}$$

Fuente: Portocarrero H., J. Calculo de columnas curso de Diseño II. UAO. 1er Sem. 2009

Datos adicionales requeridos:

Altura de la tuerca	30	mm
Resistencia de fluencia material del tornillo S_y	490000	KPa
Resistencia ultima material del tornillo S_{UT}	745000	KPa
Resistencia de fluencia material de la tuerca S_y	275790	KPa
Resistencia ultima material de la tuerca S_{UT}	455054	KPa

Número de hilos en contacto:

$$h = \frac{D - D_r}{2}$$

Altura del diente h :	1,5875	mm
-------------------------	--------	----

Número de hilos en contacto:

$$n = \frac{H_t}{p}$$

Número de hilos en contacto n =	9,4488189
-----------------------------------	-----------

Esfuerzo contacto:

$$\sigma_b = \frac{F}{\pi \cdot D_m \cdot n \cdot h}$$

Esfuerzo contacto σ_b :	458,967767	KPa
--------------------------------	------------	-----

Esfuerzo permisible de contacto

$$\sigma_{b_{per}} = 0,4 \cdot S_y$$

Esfuerzo permisible tornillo de contacto $\sigma_{b_{per}}$:	196000	KPa
Esfuerzo permisible tuerca de contacto $\sigma_{b_{per}}$:	110316	KPa

Comparación entre los esfuerzos aplicados					
	σ_b :		$\sigma_{b_{per}}$:		
Tornillo	458,967767	<	196000	Material Adecuado	Tornillo
Tuerca	458,967767	<	110316	Material Adecuado	Tuerca

En este momento se da por concluido el diseño del tornillo de potencia, según los cálculos el tornillo es adecuado; se procede entonces a la parte constructiva del mismo.

12.1.9. Construcción del tornillo de potencia. Se construyó un nuevo tornillo de potencia igual al que se poseía como se observa en la Figura 54, lo que permite un movimiento similar para poder desplazar la placa móvil de manera uniforme, con esto se garantiza una misma velocidad y recorrido, esto nos permite evitar el bloqueo que se presentaba anteriormente.

Figura 54. Tornillos de potencia.



Fuente: Los Autores

13.2. POLEAS

Con estos elementos se analizo el problema de cómo transmitirle el movimiento como se vio en los prediseños. Se consideró el uso de poleas como la forma más viable y económica de trasmitirle movimiento del motor a los dos tornillos, por lo cual se adquirieron dos poleas de 5 pulgadas (dado las limitaciones de espacio) y sus respectiva correa o banda, para adicionárselas a los tornillos, el tornillo inicial poseía una polea de 8 pulgadas que servía para transmitir el movimiento del motorreductor, con estas dos poleas auxiliares se cumplió con lo mencionado anteriormente que los tornillos giren a la misma velocidad, la transmisión de movimiento se da por medio de correas de transmisión utilizando un tornillo como conductor y el otro como conducido como se puede observar en la Figura 55 y Figura 56.

Figura 55. Juego de poleas.



Fuente: Los Autores

Figura 56. Juego de poleas instaladas.

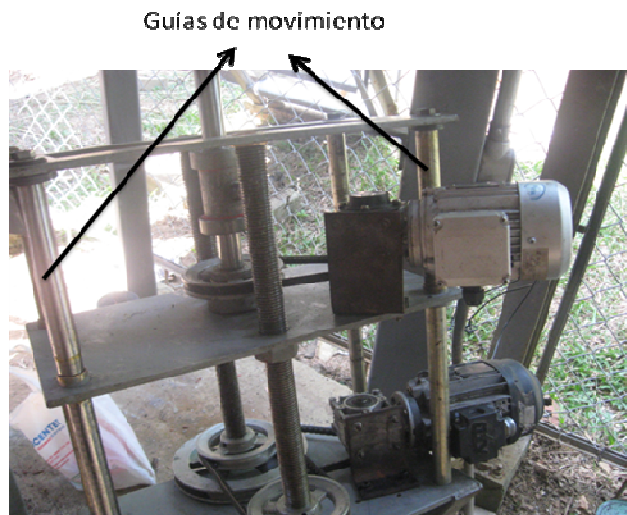


Fuente: Los Autores

13.3. GUIAS DE DESPLAZAMIENTO

De acuerdo con el rediseño, se encontró con una necesidad básica de estas guías de desplazamiento, se notó que se requería la construcción de una nueva, que sirva, como su nombre lo dice, de facilitador de desplazamiento de la placa móvil, además de apoyo estructural del sistema motor como se observa en la Figura 57.

Figura 57. Guías movimiento final.

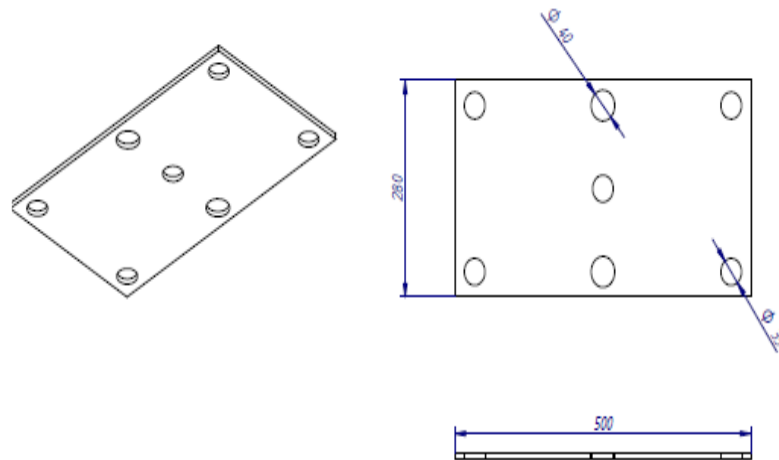


Fuente: Los Autores

13.4. PLACA MOVIL

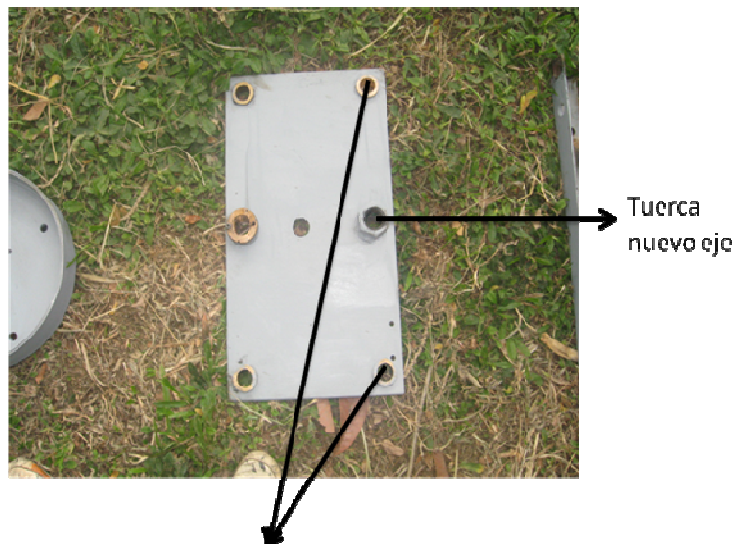
Para la placa móvil ya teniendo la referencia del rediseño se realizó la maquinada de los hoyos para las nuevas posiciones de las guías de desplazamiento además de otro hoyo para la ubicación del nuevo tornillo con su respectiva tuerca de roscado además de nuevos bujes de bronce, como se observan en la Figura 58 y Figura 59 donde están las modificaciones ya maquinadas.

Figura 58.Plano placa móvil.



Fuente: Los Autores

Figura 59.Placa móvil física.



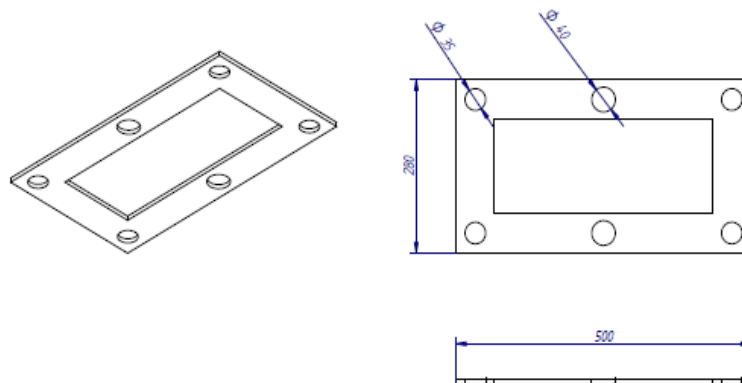
Bujes maquinados con sus respectivos bujes

Fuente: Los Autores

13.5. PLACA FIJA SUPERIOR

Al igual que la placa móvil a ésta hubo que maquinarle igual número de hoyos para la nueva posición de las guías al igual que para el nuevo tornillo como se observa en las Figura 60 y Figura 61 también se maquinaron unos bujes de bronce que nos sirven de tope para los dos tornillos de potencia, además se dispuso en las guías de movimiento tornillos de fijación haciendo el sistema motor más rígido.

Figura 60. Plano placa superior.



Fuente: Los Autores

Figura 61. Placa superior.

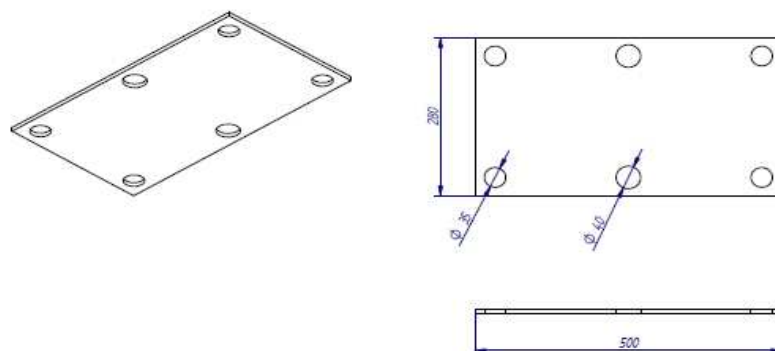


Fuente: Los Autores

13.6. PLACA INFERIOR

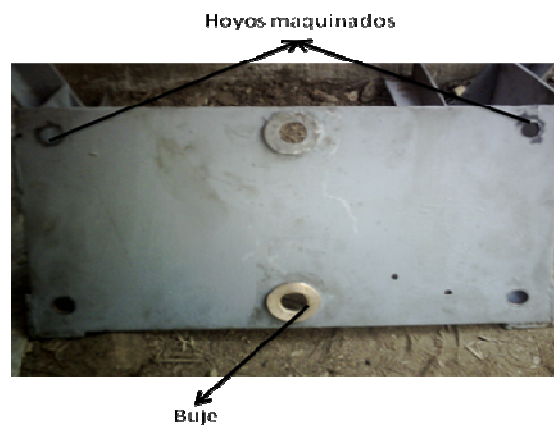
En la placa inferior se maquinó un buje de bronce para que sirviera de guía para el nuevo tornillo, además de la maquinada de los hoyos para la guías de movimiento, como se observan en las Figura 62 y Figura 63.

Figura 62. Plano placa inferior.



Fuente: Los Autores

Figura 63. Placa inferior.



Fuente: Los Autores

Además de las modificaciones respectivas hechas a las tres platinas como lo son la maquinada de los hoyos que se llevo a cabo con taladro y fresadora para cumplir con que sean iguales en diámetro y además de que tenían que realizarse alineando estas platinas para que estos hoyos coincidieran en las tres esta tarea nos presento gran problema porque tanto la platina central como la superior tenían un pandeo por lo que tuvimos que rectificarlas en el taller, la construcción de los diferentes bujes de bronce que nos sirven de topes tanto para los ejes de desplazamiento y los tornillos de potencia. Como se muestra en la Figura 64. Todas estas modificaciones y construcciones se realizaron en el Taller Metales Rino.

Figura 64. Maquinado de placas.



Fuente: Los Autores

13.7. EJE DE MOVIMIENTO Y DE REFRIGERACIÓN

El eje de movimiento se maquina en un taller especializado donde se le mejoro el acabado superficial y el pandeo que presentaba utilizando una luneta como se puede observar en la Figura 65, y por último se cambiaron los retenes de sellamiento que nos permite que no haya fugas de agua en el eje.

Figura 65. Mecanizado eje de movimiento y refrigeración con luneta.



Fuente: Los Autores

En la Figura 66 en la se puede observar el conjunto del sistema colector con el eje ensamblado.

Figura 66. Eje completo ensamblado.



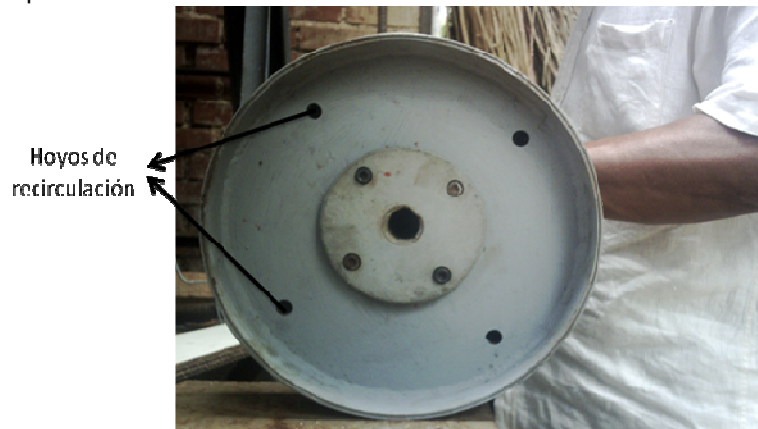
Fuente: Los Autores

13.8. PLATO SOPORTE COLECTOR DE POLVOS SISTEMA DE REFRIGERACION

Al plato soporte se construyo nuevamente realizándole las modificaciones ya descritas en la parte de descripción de piezas, este por cuestiones de maquinado, propiedades mecánicas y costos este se construyo en acero ASTM A36, dado que el anterior estaba hecho en cobre y este elemento no requiere ser hecho en este material, además el cobre fundido, no presenta las propiedades mecánicas adecuadas, el nuevo da la posibilidad de ser mas fácil de reparar o reconstruir.

En la Figura 67 se pueden observar las modificaciones hechas en los hoyos de recirculación de agua del sistema de refrigeración, los cuales están más alejados del centro y son un poco más grandes.

Figura 67. Plato soporte.



Fuente: Los Autores

13.9. EMSAMBLE

Dentro del ensamble de la pieza se presentaron diferentes problemas como el pandeo en algunas platinas, el transporte manual de estas piezas era complicado dado que algunas como la tolva o el disco armado con el eje eran muy pesadas y podrían ser peligrosas, si no se cargaban e instalaban con debida precaución.

También los diferentes tiempos que se tomaron en la construcción de los diferentes piezas en los talleres, donde se maquinaron algunas piezas como por lo menos lo fueron la construcción del disco de acero ASTM A36 que fue sometido a algunas pruebas de presión en el taller, para verificar su estanqueidad.

Después de este proceso, donde se invirtieron tanto tiempo y esfuerzo por parte de los afectados, se llegó al resultado que se muestra en las Figura 68 y Figura 69.

Figura 68. Ensamble final imagen 1.



Fuente: Los Autores

Figura 69. Ensamble final imagen 2.



Fuente: Los Autores

14. PRESUPUESTO

En la Tabla 13 aparece el presupuesto estimado para el proyecto.

Tabla 13. Presupuesto.

RECURSOS FÍSICOS Y ECONÓMICOS	COSTO
Computador.	2 800 000
Desarrollo de componentes mecánicos.	1 500 000
Materiales	600 000
Papelería necesaria.	450 000
Dispositivos de entrada y de memoria para el computador.	250 000
Bibliografías y fotocopias.	150 000
Impresiones, anillado y empastado.	300 000
TOTAL	\$6 050.000

Fuente: Los Autores.

15.FINANCIACIÓN

El proyecto se financió a través de recursos propios del Profesor Julián Portocarrero además de los Estudiantes Andrés Fernando Perdomo y José Luis Castillo ya que no se conto con ningún apoyo externo.

16.CONCLUSIONES

- Con los diferentes cálculos realizados, como el cálculo del tornillo, se aplicaron diferentes conceptos vistos en materias de la carrera para solucionar un problema particular de la máquina Osprey.
- Con la construcción del tornillo calculado se pudo resolver físicamente uno de los principales problemas que se presentaba la máquina Osprey
- Se mejoró sustancialmente el sistema motor de la máquina con los rediseños aplicados a ésta, teniendo la confianza que no presentará fallas estructurales.
- Las modificaciones realizadas al sistema de refrigeración (eje de movimiento y plato soporte) fueron exitosas ya que no se presentaron fugas además de mejorar la seguridad de este proceso.
- Se logró el perfecto movimiento de la placa móvil, algo que nos contribuyó a esto fue el diseño del nuevo tornillo, dado que no se presentan grandes pérdidas de potencia agregando el segundo tornillo y el motor presenta suficiente capacidad de carga; el tornillo posee además una buena auto-retención que produce la tranquilidad que si el sistema se para, éste no se va a devolver.
- Se dejaron las bases y la recomendación en el marco teórico para el cálculo del sistema de fluidización de las partículas a ser co-inyectadas, con lo cual se mejoraría sustancialmente el funcionamiento de este sistema.

17.RECOMENDACIONES

- Realizar el rediseño del sistema de posicionamiento de los co-inyectores de la máquina Osprey, por un sistema de fácil manipulación y mecanizado como es el uso de soportes rectangulares.
- Realizar diferentes pruebas de calibración y ajuste del equipo de Osprey.
- Seguir con la investigación y desarrollo de la tecnología Osprey dado que es una tecnología nueva con una gran posibilidades de aplicación.
- Contribuir en el desarrollo de las modificaciones necesarias a los coinyectores para lograr una mayor eficacia en la fluidización.

18. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARELLANO, J. "Lecho fijo y fluidizado". Universidad Simón Bolívar. Sección de Fenómenos de Transporte. (TF-2281). 14/03/2005.
- AURAS, R.; et al, "Mechanical essays in materials compounded by aluminum base directionally solidificated", Scientific and Technological communication Meeting, National University of Northeast. Corrientes. Argentina (1996). Pág. 8 – 43
- BUDYNAS R., NISBETT J. K. Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley. Octava edición. 2008.
- BUSQUETS,D.; et al. "Influencia Microestructural del proceso de Obtención de Aluminio Reforzado con Partículas Cerámicas". VIII Congreso Nacional de Propiedades Mecánicas de Sólidos, Gandia (2002). Pág. 243-252
- C. SALOMÓN, et al. "Fibras Utilizadas en la Fabricación de Materiales Compuestos Avanzados". Revista de Plásticos Modernos. Vol. 80. Número 534 (2000). Pág. 661 - 673
- C. T. HERAKOVICH, "Mechanics of Fibrous Composites", John Wiley & Sons, Inc. 1998. Pág. 222 – 245.
- .
- CHAWLA K.K.. Composite Materials: Science and Engineering. Springer-Verlag. New York. 1987.
- COURTHEY, T.H. "Mechanical Behavior of Materials. McGrawHill. 2000.
- FERNÁNDEZ PARIENTE, INÉS "Tecnología de Materiales". Escuela Politécnica de Ingeniería de Gijón, Universidad de Oviedo.2006.
- FERNÁNDEZ P., MARTÍNEZ V., VALENCIA M. "Aplicaciones de los Materiales Compuestos de Matriz Metálica en el Sector Eléctrico y Electrónico" Revista DYNA. Universidad Nacional de Colombia. 2005.
- .
- GONZALEZ J.; ATEHORTUA D. J. "Diseño y Construcción de un Sistema Osprey para la Producción de Materiales Compuestos de Matriz de Aluminio". Universidad del Valle. 2008

GERMAN RANDALL M. "Powder Metallurgy Science". Second Edition. MPIF. 1994.

HERAKOVICH, C. T. "Mechanics of Fibrous Composites", John Wiley & Sons, Inc. 1998. P. 222 – 245.

HO AND LAVERNIA E.J. "The Efecct of Ceramic Reinforcement on Residual Stresses During Atomization and Co-deposition of Metal Matrix Composites". Acta Metalurgica. Inc. Vol. 34, N 12, pp. 1911-1918. 1996.

KOZAREK R.. "Spray Forming-Aluminum". Alcoa Technical Center. Third Annual Report (Phase II). 1998, p 98.

MATERIALES COMPUESTOS. http://www.acapomil.cl/investigacion/boletines/boletin_1999/Mec_fractura_aleac.htm.

ORTIZ J. L. "Composites de matriz de aluminio reforzados con nitruro, una alternativa en el desarrollo de materiales de alto desempeño". Revista electrónica del Tecnológico de Monterrey. Campus Querétaro. México. Diciembre 11 del 2000. Páginas 4.

PORTOCARRERO J. Anteproyecto de Tesis Doctoral "Síntesis y Caracterización de MMC Obtenidos por el Proceso Osprey con Matriz de Al y Reforzamiento de Partículas de Carburos Dobles" Universidad del Valle. 2006.

-----, "Materiales Compuestos y su Aplicación al Sector Aeronáutico". Revista de Ciencia y Tecnología. Fuerza Área Colombiana. Julio de 2008.

SCHIER, J. F.; JUERGENS, R. J. "They Force a Fresh Look at the Design Process". Astronautics & Aeronautics, Sept. 1983, pp.44-49.

SEPÚLVEDA W., J. R. "Planta de Atomización-Coinyección-Deposición de Materiales Compuestos Base Cobre". Memoria para optar al título de ingeniero civil-mecánico. Universidad de Chile. 1999.

SHACKELFORD, F.; GÜEMES, A. "Introducción a la Ciencia de Materiales para Ingenieros". Cuarta Edición. Prentice Hall. 1998.

SMITH, W.F. "Fundamentos de la Ciencia e Ingeniería de Materiales. Tercera Edición. McGrawHill. 1998.

SP SYSTEMS. SP Systems Guide to Composites. Composites Engineering Materials. 19-07-2001.

WIKIPEDIA. Fluidización. <http://es.wikipedia.org/wiki/> consulta junio 5 de 2009.